



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL – RESIDUOS SÓLIDOS

**“GESTIÓN AMBIENTAL POST-SISMO DE RESIDUOS DE LA
CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN LA CIUDAD DE MÉXICO”**

MODALIDAD DE GRADUACIÓN: TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN INGENIERÍA

PRESENTA:
TANIA RAMIREZ MUÑOZ

TUTOR PRINCIPAL:
M.C. CONSTANTINO GUTIÉRREZ PALACIOS. FACULTAD DE INGENIERÍA

COMITÉ TUTOR
DR. ENRIQUE CÉSAR VALDEZ. FACULTAD DE INGENIERÍA
DR. ARTURO GAVILÁN GARCÍA. INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y
CAMBIO CLIMÁTICO

CIUDAD DE MÉXICO, OCTUBRE 2020.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: DR. ENRIQUE CÉSAR VALDEZ

Secretario: DR. ARTURO GAVILÁN GARCÍA

1 er. Vocal: DR. ALEJANDRO PADILLA RIVERA

2 do. Vocal: M.I. CARLOS JAVIER MENDOZA ESCOBEDO

3 er. Vocal: M.C. CONSTANTINO GUTIÉRREZ PALACIOS

Lugar donde se realizó la tesis: CIUDAD DE MÉXICO

TUTOR DE TESIS:

M.C. CONSTANTINO GUTIÉRREZ PALACIOS

FIRMA

*Cuando un hombre planta árboles cuya
sombra sabe que nunca habrá de sentarse,
ha comenzado a entender el sentido de la vida.*

Anónimo

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por la oportunidad de llegar a este punto de mi vida y a la Universidad Nacional Autónoma de México por la formación académica, profesional y personal que he recibido en sus aulas.

Mi gratitud a la paciencia y apoyo del Mtro. Constantino Gutiérrez Palacios y a las valiosas contribuciones de mi Comité Tutorial.

De manera especial deseo agradecer la confianza depositada en mi persona por parte del Dr. Arturo Gavilán García y el Mtro. Miguel Ángel Martínez Cordero, por su estímulo y guía en estos años.

Dedico con mucho cariño este trabajo a mi familia; la motivación y alegría de mi vida y a Héctor por su amor y apoyo.

A Blanca, Shely y David a quienes un día encontré por casualidad y se volvieron verdaderos amigos y aliento.

¡Gracias!

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	10
JUSTIFICACIÓN	11
OBJETIVO GENERAL	12
OBJETIVOS PARTICULARES	12
CAPÍTULO 1. DIAGNÓSTICO.....	13
1.1 Regiones sísmicas de México	13
1.1 Zonificación sísmica de la Ciudad de México.....	16
1.3 Principales sismos que causaron afectaciones a la Ciudad de México	17
1.4 Experiencias adquiridas en los sismos de 1957, 1985 y 2017	20
1.4.1 El sismo del 28 de julio de 1957.....	20
1.4.2 El sismo del 19 de septiembre de 1985	26
1.4.3 El sismo del 19 de septiembre de 2017.	32
1.4.4 Análisis del manejo de residuos de la construcción y la demolición generados en los sismos ocurridos en la Ciudad de México	43
1.4.4.1 Generación	43
1.4.4.2 Almacenamiento temporal y recolección.....	45
1.4.4.3 Disposición Final.....	47
1.5 Legislación nacional en materia de RCD	49
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.....	52
2.1 Etapa 1: Elaboración de Diagnóstico.....	52
2.2 Etapa 2: Identificación de actores clave en la gestión de RCD y elaboración de encuestas	52
2.3 Etapa 3: Descripción de cada una de las etapas de manejo de los RCD	53
2.4 Etapa 4: Elaboración de Análisis de Ciclo de Vida de los residuos generados en un sismo	53
2.5 Etapa 5: Análisis de resultados e integración de Guía para la Gestión Integral de los RCD	54
2.6 Etapa 6: Recomendaciones y conclusiones	54
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	55
3.1 Prueba piloto para la cuantificación de RCD empleando la técnica de fotogrametría con vehículos aéreos no tripulados	55
3.2 Análisis de ciclo de vida de los residuos generados después de un sismo en la Ciudad de México	62
3.2.1 Objetivo	62
3.2.2 Alcance	62

3.2.3 Función del manejo de residuos después de un sismo.....	62
3.2.4 Unidad Funcional:.....	62
3.2.5 Límites del sistema:	63
3.2.6 Inventario de Ciclo de Vida	69
3.2.6 Selección del método y categorías de impacto.....	70
3.2.7 Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida.....	71
3.2.8 Resultados	72
3.2.9 Interpretación de la Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida.....	79
3.2.10 Conclusiones y futuras líneas de investigación	80
CAPITULO 4. GUÍA PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS EN CASO DE SISMOS PARA LA CIUDAD DE MÉXICO.....	81
4.1 Actores involucrados en la gestión de residuos de la construcción y la demolición	81
4.2 Organización geográfica	85
4.3 Tipos de residuos generados en un sismo.....	89
4.3.1. Residuos peligrosos	91
4.3.1.1 Bifenilos policlorados.....	91
4.3.1.2 Pentaclorofenol	94
4.3.1.3 Residuos eléctricos y electrónicos (REE)	96
4.4 Manejo de RCD en caso de sismos	97
4.4.1.1 Empleo de vehículos aéreos no tripulados para la cuantificación de residuos generados post sismo	99
4.4.2 Almacenamiento temporal	105
4.4.3 Clasificación	108
4.4.4 Recolección y transporte	111
4.4.4.1 Métodos de recolección.....	114
4.4.5 Tratamiento	116
4.4.6 Disposición Final.....	120
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES	124
ANEXO 1.....	132
ANEXO 2.....	133
ANEXO 3.....	145

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Regionalización sísmica de México.	15
Tabla 2. Principales sismos que han causado afectaciones a la Ciudad de México	18
Tabla 3. Descripción de las estructuras dañadas en el sismo del 28 de julio de 1957.	22
Tabla 4. Descripción de estructuras dañadas en los sismos de septiembre de 1985.....	27
Tabla 5. Descripción de estructuras dañadas en el sismo de septiembre de 2017	34
Tabla 6. Características del VANT DJI Phantom 4 PRO	56
Tabla 7. Puntos de control identificados en la prueba piloto	57
Tabla 9. Caracterización de lixiviados	67
Tabla 10. Datos de entrada para el software OpenLCA.....	69
Tabla 11. Categorías de impacto seleccionadas y sus unidades.....	71
Tabla 12. Composición de Residuos de la Construcción y la Demolición.....	90
Tabla 13. Materiales absorbentes para BPCs	93
Tabla 14. Manejo adecuado de residuos con BPC de acuerdo con su concentración.....	93
Tabla 15. Patrones de captura más comunes	101
Tabla 16. Guía rápida para la selección vehículos para el transporte de residuos	112
Tabla 17. Tipos de vehículos y consideraciones particulares.....	113

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Zona de subducción mexicana.....	14
Figura 2. Regionalización sísmica de México.	14
Figura 3. Regiones sísmicas de México.....	15
Figura 4. Zonificación sísmica de la Ciudad de México.	16
Figura 5. Caída del Ángel de la Independencia en el sismo de 1957.	21
Figura 6. Derrumbe del edificio Rioma en Insurgentes y Michoacán, Ciudad de México.	21
Figura 7. Porcentaje de edificios dañados por el sismo de 1957, de acuerdo a su número de niveles.....	22
Figura 8. Representación de los colapsos parciales y totales ocasionados por el sismo de 1957 en la Ciudad de México	25
Figura 9. Daños ocasionados por los sismos de septiembre de 1985.	26
Figura 10. Porcentaje de edificios dañados por el sismo de 1985, de acuerdo con su número de niveles.....	30
Figura 11. Representación de los colapsos parciales y totales ocasionados por el sismo de 1985 en la Ciudad de México.	31
Figura 12. Daños ocasionados por el sismo del 19 de septiembre de 2017.	32
Figura 13. Daños ocasionados por los sismos de septiembre de 1985.	33
Figura 14. Representación de los daños ocasionados por el sismo del 19 de septiembre de 2017 en la Ciudad de México.....	41
Figura 15. Porcentaje de edificios dañados por el sismo de 2017, de acuerdo con su número de niveles.....	42
Figura 16. Residuos de la construcción y demolición generados por edificio derrumbado en el sismo de septiembre de 2017.....	45

Figura 17. Residuos de la construcción y demolición generados por cada nivel de edificios colapsados en el sismo de septiembre de 2017.....	45
Figura 18. Escombros del sismo de 1985.....	46
Figura 19. Vistas de la devastación desde el memorial de Yuriage y de los trabajos de remoción y clasificación de escombros.....	47
Figura 20. Identificación del predio de estudio. Fuente: elaboración propia.....	55
Figura 21. Preparación de vuelo del VANT. Fuente: elaboración propia.	57
Figura 22. Colocación de puntos de control. Fuente: elaboración propia.	58
Figura 23. Fotografías capturas en el predio de estudio.....	58
Figura 24. Carga de imágenes y generación de nube de puntos..	59
Figura 25. Aplicación de textura a la malla.....	59
Figura 26. Ortoimagen del predio de estudio capturado con el VANT.	60
Figura 27. Cálculo de volumen de RCD a partir del polígono trazado.....	61
Figura 28. Contribuciones porcentuales por categoría de impacto.....	73
Figura 29. Contribuciones a la categoría de acidificación para el escenario 1,2 y 3..	74
Figura 30. Contribuciones a la categoría de cambio climático para el escenario 1,2 y 3..	75
Figura 31. Contribuciones a la categoría de disminución de la capa de ozono del escenario 1,2 y 3	76
Figura 32. Contribuciones a la categoría de eutrofización del escenario 1, 2 y 3	77
Figura 33. Contribuciones a la categoría de oxidación fotoquímica del escenario 1, 2 y 3	78
Figura 34. Comité de Emergencias de la Ciudad de México del "Plan de Emergencia Sísmica" ..	85
Figura 35. División regional de la Ciudad de México para la atención de emergencias.	86
Figura 36. Composición de los residuos generados en el sismo del gran este de Japón.	89
Figura 37. Placa de identificación de transformadores	92
Figura 38. Postes impregnados con pentaclorofenol.	94
Figura 39. Residuos eléctricos y electrónicos generados en caso de sismos.....	96
Figura 40. Método de Evaluación Rápida según ATC-20 para inspección post-sismo de edificaciones.	98
Figura 41. Diferentes modos de vuelo y su tipo de captura.....	100
Figura 42. Identificación de puntos de control.	102
Figura 43. Distribución de puntos de control a) Correcta b) Incorrecta.....	103
Figura 44. Tiempo empleado para el manejo de los residuos después del Gran Sismo del Este en Japón.	105
Figura 45. Ejemplo de clasificación y almacenamiento de residuos después de un sismo.	109
Figura 46. Clasificación de los residuos generados después de un sismo en la CDMX.....	109
Figura 47. Sitios de disposición final en el Estado de México autorizados por la Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México.	122

LISTA DE ACRÓNIMOS

CENAPRED	Centro Nacional de Prevención de Desastres
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CMIC	Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción
INAH	Instituto Nacional de Antropología e Historia
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
LANOT	Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra
LGPGIR	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos
NOAA	Administración Nacional Oceánica y Atmosférica
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
OCHA	UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PEPGIR	Plan Estatal para la Gestión Integral de los Residuos
RSD	Residuos en Situación de Desastre
SEDATU	Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano
SEDENA	Secretaría de la Defensa Nacional
SEDUE	Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología
SEDUMA	Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente
SEMAR	Secretaría de Marina
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SDF	Sitio de Disposición Final
SGM	Servicio Geológico Mexicano
SSN	Servicio Sismológico Nacional
SSPC	Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana
UE	Unión Europea
UNEP	United Nations Environment Program

INTRODUCCIÓN

Por su ubicación geográfica, características climáticas, orográficas e hidrológicas, así como por su actividad volcánica y sísmica, México es propenso al impacto de una gran variedad de fenómenos naturales con potencial para provocar desastres. Las consecuencias negativas de estos eventos se incrementan por las malas condiciones sociales y económicas que existen en amplios sectores de la población, lo que genera altos niveles de vulnerabilidad en muchas regiones del país (OCDE, 2013).

En caso de sismos y de cualquier otra contingencia, la recuperación de vidas, el apoyo a damnificados y la reposición de pérdidas materiales es tarea prioritaria, pero una vez finalizada la situación de emergencia es importante gestionar los grandes volúmenes de escombros generados, para evitar impactos no deseados a la salud y el medio ambiente. Entre estos escombros, los residuos de la construcción y demolición (RCyD) son una fracción importante debido al volumen que ocupan, sin embargo, su manejo es difícil debido a que de manera ordinaria están mezclados con metales, madera, cenizas, plásticos y residuos orgánicos.

En algunos casos, el volumen generado de RCyD en desastres puede ser 5 o 15 veces mayor que en condiciones normales (D. Reinhart y P. Mc Creanor, 1999) y suelen rebasar la capacidad de la infraestructura para el reciclaje de estos, además estos pueden entorpecer los servicios de emergencias y retrasar las actividades de reconstrucción. Por lo general, para llevar a cabo un adecuado manejo de los RCyD se deben realizar diversas actividades, tales como: estimar la cantidad generada, clasificarlos y evaluar opciones de reúso, reciclaje o disposición final, de acuerdo con la regulación vigente de la región.

En esta tesis se realiza un análisis sobre el adecuado manejo de los RCyD generados después de un sismo, para ello se retoman las experiencias adquiridas en tres de los sismos que han causado más afectaciones a la Ciudad de México, además se revisaron las recomendaciones realizadas en guías nacionales e internacionales sobre el manejo de residuos en condiciones ordinarias y en caso de desastres; se identificó la normatividad aplicable a este tipo de residuos y las atribuciones de las distintas dependencias del gobierno de la Ciudad de México y del resto del país. Además, se propone un método para la cuantificación de RCyD empleando vehículos aéreos no tripulados (conocidos de manera común como drones) y se evalúa el impacto de diferentes escenarios de reciclaje mediante

un análisis de ciclo de vida de estos residuos. Para finalizar, se realizan recomendaciones para la coordinación y comunicación.

JUSTIFICACIÓN

La Ciudad de México está establecida sobre una zona sísmica y a través de los años ha enfrentado las consecuencias de diversos sismos con epicentros en diferentes estados del país, algunos de los más devastadores han sido los ocurridos en los años de 1957, 1985 y 2017. Se estima que tan sólo en el sismo de 1985 se pudieron haber generado hasta 100,000 toneladas de RCyD (Pérez M. A., 1985) y hasta 105,903 m³ de RCyD en el sismo de 2017, los cuales en ambos casos pudieron haber sido dispuestos en tiros clandestinos o sitios ya clausurados, además no se encontró registró sobre algún caso de reciclaje o aprovechamiento de estos residuos.

Después de que ocurrieron los sismos de 2017, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales presentó un documento titulado: “Criterios para el manejo de los residuos de la construcción y demolición generados por el sismo del 19 de septiembre para los estados de México, Puebla y Ciudad de México”. Esta guía estableció criterios para evitar que los RCD fueran dispuestos en áreas nacionales protegidas, humedales y otras zonas vulnerables, de acuerdo con la LGPGIR. Sin embargo, este documento fue expedido 10 días después del sismo del 19 de septiembre y 22 días después del sismo del 7 de septiembre de 2017, y aunque contar con esta guía fue de gran importancia, aún es necesario establecer un protocolo específico que indique las acciones inmediatas para el manejo de los residuos en caso de un sismo y los días posteriores a este.

Después, en septiembre de 2019, el Gobierno de la Ciudad de México presentó el “Plan de Emergencia Sísmica”, el cual es un protocolo cuyo propósito es facilitar las labores de atención y actuación de los cuerpos de gobierno ante un movimiento telúrico de gran magnitud. El plan divide a la ciudad en cinco regiones: norte, sur, centro, oriente y poniente, también se hizo una estimación de 415 edificios con posibilidad de colapsarse ante un sismo superior al registro de 1985 y 2017 considerando una coordinación con dependencias de la CDMX y del gobierno federal como SEMAR, SEDENA, Guardia Nacional, SSPPC. Sin embargo, esta guía no aborda medidas para el manejo de los residuos o recomendaciones particulares que favorezcan su reciclaje, por lo tanto, es muy importante diseñar un

protocolo para el manejo de los residuos que esté alineado con este “Plan de Emergencia Sísmica”.

Algunos países, como Japón, ya cuentan con un protocolo de este tipo, por ejemplo el documento: “Guidelines -Master Plan-for Disaster Waste Management after the Great East Japan Earthquake” (Ministry of the Environment of Japan, 2011) establece los roles que deberán seguir los actores involucrados en el manejo de los residuos después de un sismo, también considera métodos físicos y químicos para el tratamiento de los residuos, así como un calendario en donde se indica la duración que deberá tener cada actividad. Otro ejemplo es el documento preparado por Nueva Zelanda titulado: “Disaster Waste Management Planning” (Stantec, 2017), el cual incluye medidas en caso de sismos y otros desastres naturales, para cuantificar y caracterizar los residuos, recolección, tratamiento y almacenamiento temporal de los residuos, así como medidas para identificar residuos peligrosos.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar una guía para el manejo ambiental adecuado de residuos de la construcción y demolición (RCD) en la Ciudad de México después de un sismo, empleando Sistemas de Información Geográfica y Análisis de Ciclo de Vida.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Analizar la generación histórica de RCyD en la Ciudad de México debido a los sismos.
- Identificar la ubicación de edificaciones colapsadas por sismos en la Ciudad de Mexico, empleando Sistemas de Información Geográfica.
- Sugerir métodos para la cuantificación de los RCyD en caso de sismos.
- Proponer sistemas de almacenamiento temporal de RCyD para maximizar el reúso y reciclaje de estos residuos.
- Comparar los beneficios del manejo de los residuos generados después de un sismo considerando tres escenarios: con reciclaje, con 50% de reciclaje y sin reciclaje, a través de un Análisis de Ciclo de Vida.
- Integrar una guía de manejo ambiental adecuado de residuos de la construcción y demolición en la Ciudad de México

CAPÍTULO 1. DIAGNÓSTICO

1.1 Regiones sísmicas de México

Hay dos zonas principales en el mundo donde es más frecuente la actividad sísmica: el Cinturón Circumpacífico y el Cinturón Alpino. El primero, es una zona angosta alrededor del Océano Pacífico, que incluye desde el extremo sur de América, pasando por Chile, Perú, Ecuador, Colombia, México, Estados Unidos, Canadá y Alaska para pasar después hacia Japón y las Islas Filipinas y terminar en la isla del sur de Nueva Zelanda. En esta zona se libera al año del 80 al 90% de la energía sísmica del mundo.

El Cinturón Alpino va desde las Azores, en el extremo occidental de Europa y África, cruzando el Mediterráneo, afectando de forma principal a la península Ibérica, el norte de África, Italia, Grecia, Rumania, Yugoslavia, Irán, Irak y Turquía. En este cinturón se libera el resto de la energía sísmica (Fundación ICA 1988).

La alta sismicidad de la República Mexicana se debe a esta ubicación en el Cinturón Circumpacífico y a la interacción entre las placas de Norteamérica, la de Cocos, frente a las costas de los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Colima y Jalisco, así como las interacciones de otras placas como la del Pacífico, la de Rivera y la del Caribe, así como a fallas locales que corren a lo largo de varios estados, aunque estas últimas menos peligrosas. La Placa Norteamericana se separa de la del Pacífico, pero roza con la del Caribe y choca contra las de Rivera y Cocos, de aquí la incidencia de los sismos (Figura 1).

Los estados de la República con mayor sismicidad son Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Colima y Jalisco debido a las interacciones antes mencionadas, sin embargo, las afectaciones suelen alcanzar los estados de Veracruz, Tlaxcala, Morelos, Puebla, Nuevo León, Sonora, Baja California, Baja California Sur y la Ciudad de México. De manera particular, aunque la Ciudad de México no se encuentre sobre la costa, se ha convertido en un receptor para experimentar sus efectos y la causa de que estos sean más dañinos en esta zona que en otros lugares radica, entre otras cosas, en la naturaleza de su terreno ya que fue construida en lo que alguna vez fue un lago.



Figura 1. Zona de subducción mexicana.

Fuente: Servicio Sismológico Nacional, Instituto de Geofísica de la UNAM.

A partir del conocimiento de la incidencia de estas placas tectónicas en el país, se establecieron cuatro regiones sísmicas en la República Mexicana (Tabla 1 y Figura 2) según el peligro sísmico al que están sujetas las construcciones (CENAPRED, 2014). Es importante destacar que, aunque el establecimiento de estas regiones permite saber cuáles son los lugares más propensos a sufrir sismos fuertes y de manera más probable, nadie puede predecir el lugar exacto donde ocurrirá un sismo.



Figura 2. Regionalización sísmica de México.

Fuente: Manual de diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad. http://www2.ssn.unam.mx/website/jsp/region_sismica_mx.jsp

Tabla 1. Regionalización sísmica de México.

Zona	Características
A	Zona de menor peligro , donde no se tienen registros históricos de sismos en los últimos 80 años, y no se esperan aceleraciones del suelo ¹ mayores a un 10% de la aceleración de la gravedad a causa de temblores.
B	Zona de peligro intermedio , donde se registran sismos poco frecuentes o son zonas afectadas por altas aceleraciones pero que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo.
C	
D	Zona de mayor peligro , donde se han reportado grandes sismos históricos y la ocurrencia de los mismos es muy frecuente. Las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad.

Fuente: SGM, 2017.

Otra división del país está dada por regiones sísmicas, penisísmicas y asísmicas (Figura 3), donde las *zonas sísmicas* están localizadas al sur y suroeste de la República. Aunque esta división del país es muy similar a la regionalización sísmica de la Tabla 1, esta es más antigua y de manera general se opta por la división de 4 regiones.



Figura 3. Regiones sísmicas de México.

Fuente: Instrumentación sísmica del estado de Puebla.
<http://www.elementos.buap.mx/num14/pdf/37.pdf>

¹ La aceleración del suelo se refiere al aumento de la velocidad del movimiento del suelo en un sismo. De manera general la unidad de aceleración utilizada es la intensidad del campo gravitatorio ($g=9.81 \text{ m/s}^2$)

1.1 Zonificación sísmica de la Ciudad de México

De la misma manera que a nivel federal, la Ciudad de México cuenta con su propia zonificación, que muestra las zonas con mayor impacto y que presentan aceleraciones del terreno desfavorables para la estabilidad de infraestructura civil (Figura 4). Esta zonificación fue presentada en agosto de 2010 por la Secretaría de Protección Civil del Gobierno del Distrito Federal (ahora Ciudad de México) y divide a la Ciudad de México en tres zonas: zona I o firme, zona II o de transición y zona III o del lago.

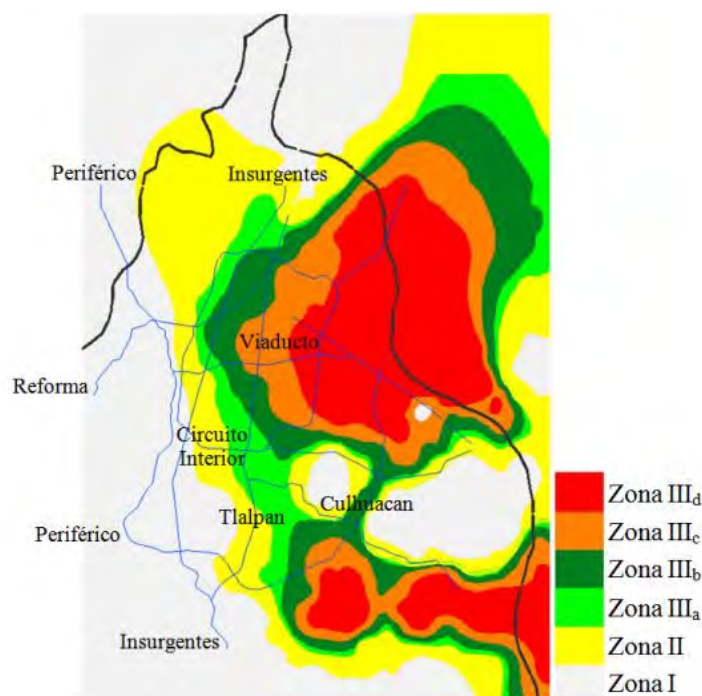


Figura 4. Zonificación sísmica de la Ciudad de México.

Fuente: Norma Técnica Complementaria NTC-002-SPCDF-PV-2010 de la Ciudad de México.

a) *Zona I o firme.* En esta zona, es frecuente la presencia de oquedades en rocas, de cavernas y túneles excavados en suelos para explotar minas de arena y de rellenos no controlados;

b) *Zona II o de transición.* Transición, en la que los depósitos profundos se encuentran a 20 m de profundidad, o menos;

c) *Zona III o del lago.* Estas capas arenosas son compactas a muy compactas y de espesor variable de centímetros a varios metros. De manera adicional, la zona III se divide en cuatro

subzonas: IIIa, IIIb, IIIc y IIId. Como resultado de esta zonificación las alcaldías de mayor riesgo sísmico en la Ciudad de México son: Cuauhtémoc, Benito Juárez, Gustavo A. Madero, Venustiano Carranza, Iztacalco, Iztapalapa, Xochimilco y Tláhuac.

1.3 Principales sismos que causaron afectaciones a la Ciudad de México

De acuerdo con los registros, se tiene registro de los sismos más severos que pudieron sentirse en el Valle de México en 1582, 1603 y 1611, para el año 1711 no sólo se registró un sismo de gran intensidad sino de mayor duración, ya que éste pudo ser sentido durante media hora en el Valle de México, seguido por el sismo de 1753 con una duración de 10 minutos.

En 1932 se registró el sismo más grande del siglo en México, originándose en las costas de Jalisco sin producir grandes daños a la capital del país. A consecuencia de los daños provocados por el sismo de Michoacán de 1941, en el Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México de 1942 se incluye el diseño sísmico de estructuras. Los edificios en la ciudad habían resistido con éxito el gran temblor de 1932 pero entonces se contaba con inmuebles de menos de cuatro niveles con estructuración conservadora.

Las estructuras que surgieron a partir del sismo de 1941 requerían mejores diseños y conocimientos sobre las propiedades de los materiales y los suelos. Por ello, en el nuevo reglamento se incluyó, entre otras innovaciones, la microzonación² de la ciudad atendiendo a las características del subsuelo. Esta microzonación tuvo sus orígenes en el estudio del problema de hundimientos y se incorpora al problema sísmico al observarse la estrecha correlación entre daño estructural y composición del subsuelo (Orozco V. y Reinoso E., 2007). Algunos de los sismos más relevantes por las afectaciones causadas a la Ciudad de México en el último siglo son los ocurridos en 1957, 1985 y los sismos ocurridos en septiembre de 2017, además de ellos se registraron más de 70 sismos con afectaciones considerables, un resumen de ellos se muestra en la Tabla 2.

² La zonación sísmica es una herramienta que permite geolocalizar los sismos, la evaluación de sus efectos y vulnerabilidad desde un punto estadístico a nivel regional, mientras que la microzonación de refiere a nivel local.

Tabla 2. Principales sismos que han causado afectaciones a la Ciudad de México

Nombre	Fecha	Magnitud	Zonas afectadas	Daños
Sismo de 1907	14 de abril de 1907	7.9	Ciudad de México y Guerrero	Derrumbe del Colegio Salesiano, rompió cañerías y produjo grietas en las calles
Sismo 1908	26 de marzo de 1908	-	Ciudad de México	Derrumbes de bardas, techos, cuarteaduras en la cárcel de Belén y el Palacio de Justicia. Hubo 6 muertos.
Sismo 1909	30 de julio de 1909	7.5	Ciudad de México y Guerrero	Derrumbe de casas y muros. Tiró arcos del Palacio Nacional
Sismo 1911	7 de junio de 1911	7.8	Ciudad de México, Jalisco y Michoacán	Sismo trepidatorio. Flexionó vías férreas. Derrumbó el cuartel de artillería de San Cosme y muros de diversas partes de la Ciudad. Deterioró el Palacio Nacional y derrumbó varias casas en la colonia Doctores. Erupción de volcán Colima.
Sismo 1928	4 de agosto de 1928	7.4	Ciudad de México y Oaxaca	Se derrumbó el Palacio Municipal de Chalco
Sismo de 1941	5 de abril de 1941	7.9	Ciudad de México y Colima	Arrasó la Ciudad de Colima. Dañó la cúpula del cine Insurgentes. Edificios cuarteados, grietas en las calles.

Nombre	Fecha	Magnitud	Zonas afectadas	Daños
El sismo del Ángel	27 de julio de 1957	7.8	Sureste de Acapulco, 02:44 horas	En este evento ocurrió la caída del Ángel de la Independencia. La zona centro de la República Mexicana fue la más afectada, en especial la Ciudad de México en donde se registró un saldo de 700 muertos y 2,500 heridos.
Sismo de 1980	24 de octubre de 1980	7.5	Ciudad de México y Guerrero	Decenas de muertos y 50 mil damnificados de 300 localidades
El sismo de 1985	19 de septiembre de 1985	8.1	Costas de Michoacán, 7:17 horas	Las cifras oficiales indican que durante el sismo fallecieron 5,000 personas, sin embargo, otras estimaciones arrojan más de 10,000 decesos, cerca de 50,000 heridos, al menos unas 250,000 personas sin hogar, más de 770 edificios colapsados o dañados de forma severa y pérdidas económicas que representaron el 2.1% del Producto Interno Bruto (PIB) nacional y el 9.9% de la Ciudad de México.
Sismo de 1985	20 de septiembre de 1985	7.3	Ciudad de México, Veracruz, Puebla y Oaxaca	Daños a instalaciones eléctricas y edificios ya afectados el 19 de septiembre de 1985.

Nombre	Fecha	Magnitud	Zonas afectadas	Daños
El sismo con más réplicas de la historia	20 de marzo de 2012	7.5	Ometepec; Guerrero, 12.02 horas	Se generó un tsunami de 1.5 metros de altura y un levantamiento de la costa de cerca de 70 centímetros en el poblado de Punta Maldonado. Este sismo se distingue por haber tenido la mayor cantidad de réplicas registradas en terremotos mexicanos, con 44 eventos de magnitud superior a 4.5 durante los primeros 30 días que siguieron a su ruptura.
Sismo de Septiembre 2017	19 de septiembre de 2017	7.1	Ciudad de México, Oaxaca, Estado de México, Guerrero, Puebla y Morelos.	Epicentro a 12 km. al sureste del municipio de Axochiapan, Morelos. La cifra final de personas fallecidas proporcionada por las autoridades al día 22 de septiembre ascendió a 291: 1 en Oaxaca, 6 en Guerrero, 15 en el Estado de México, 46 en Puebla, 75 en Morelos y 225 en la Ciudad de México.

Fuente: Elaboración propia a partir de Cruz M.V.,2013

1.4 Experiencias adquiridas en los sismos de 1957, 1985 y 2017

1.4.1 El sismo del 28 de julio de 1957

El 28 de julio de 1957 la Ciudad de México se vio afectada por un sismo de 7.5 en la escala de Richter el cual es referido como el “Temblor del Ángel” debido a que una de las consecuencias más conocidas de este sismo fue el desprendimiento del monumento a la independencia de México de su columna honoraria y su caída al suelo (Figura 5), y de otros

edificios emblemáticos como el edificio Rioma (Figura 6), así como la muerte de 73 personas (Salcido I., 2019).



Figura 5. Caída del Ángel de la Independencia en el sismo de 1957.

Fuente: <https://i.pinimg.com/originals/ab/65/f9/ab65f9c64b2602a7134d81c8266fefa5.jpg>



Figura 6. Derrumbe del edificio Rioma en Insurgentes y Michoacán, Ciudad de México.

Fuente: *Salcido I, 2019.*

En la Tabla 3 se describen los daños identificados, asimismo se observó que todos los colapsos se presentaron en los edificios de baja altura, en edificios menores a 5 niveles (Figura 7), mientras que los edificios de más de cinco niveles presentaron colapsos parciales y daños moderados (Orozco V. y Reinoso E.,2007). Sin embargo, no se encontró registro sobre la cantidad de RCD generados en el sismo, por lo tanto, se realizó una estimación a partir de la cantidad de residuos recolectados en los sitios de derrumbe de los sismos ocurridos en el año 2017, considerando una generación promedio de 218 m³ de residuos de la demolición (RD) por nivel, lo que equivale a una generación total estimada de 84, 802 m³ de RD.

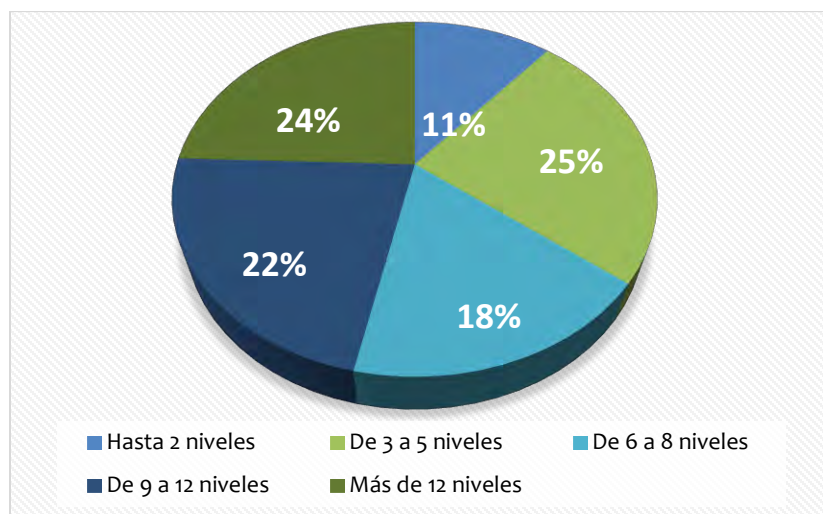


Figura 7. Porcentaje de edificios dañados por el sismo de 1957, de acuerdo a su número de niveles.

Fuente: elaboración propia a partir de Orozco V. y Reinoso E., 2007.

Tabla 3. Descripción de las estructuras dañadas en el sismo del 28 de julio de 1957.

Número de edificio	Dirección	Uso	Número de niveles	Estimación de RD generados (m ³)
1	Aquiles Serdán 29	Oficinas	13	2,834
2	Insurgentes 37	Oficinas	16	3,488
3	Balderas 44	Oficinas y escuela	6	1,308
4	Chapultepec 540	Oficinas	8	1,744
5	Gutenberg 47	Vivienda	11	2,398
6	Havre 7	Oficinas	9	1,962
7	Insurgentes 428	Vivienda	5	1,090
8	Insurgentes 473	Oficinas	8	1,744
9	Insurgentes 576	Vivienda	3	654
10	La Fragua No. 4 / 7 niveles	-	Oficinas	1,526
11	M. Ocampo 257	Vivienda	11	2,398
12	Reforma 45	Oficinas	19	4,142
13	Reforma 104	Oficinas	9	1,962

Número de edificio	Dirección	Uso	Número de niveles	Estimación de RD generados (m³)
14	Reforma 336	Oficinas	7	1,526
15	Sullivan 199	Vivienda	11	2,398
16	Dr. Barragán 538	Vivienda	3	654
17	Juárez 76	Oficinas	11	2,398
18	Morelos 110	Oficinas	13	2,834
19	Oaxaca 50	Oficinas	11	2,398
20	Reforma 122	Oficinas	14	3,052
21	Río Rhin 82	Vivienda	3	654
22	San Juan de Letrán 23	Cine	7	1,526
23	Soledad 90	Comercio	3	654
24	Topógrafos 7	Vivienda	14	3,052
25	-	Oficinas	15	3,270
26	-	Vivienda	9	1,962
27	Abraham González 3	Oficinas	10	2,180
28	Casco de Sto. Tomas	Escuela	4	872
29	Aquiles Serdán 29	Oficinas	9	1,962
30	Insurgentes 263	Oficinas	9	1,962
31	Insurgentes 368	Banco	5	1,090
32	Lecumberri 63	Cine	2	436
33	Reforma 35	Oficinas	14	3,052
34	Reforma 77	Oficinas	14	3,052
35	Villalugin	Oficinas	5	1,090
36	Reforma 1	Oficinas	16	3,488

Número de edificio	Dirección	Uso	Número de niveles	Estimación de RD generados (m ³)
37	-	Comercio y oficina	8	1,744
38	-	-	16	3,488
39	-	-	7	1,526
40	Geranio 31	Oficinas	5	1,090
41	Serapio Rendón	Cine	1	218
42	Santa Escuela	Comercio	1	218
43	Insurgentes 377	Oficina	5	1,090
44	Frontera esq. Álvaro Obregón	Oficina	5	1,090
45	Casco de Sto. Tomas	Escuela	4	872
46	C. Romero de Terreros 52	Vivienda	2	436
47	Insurgentes 1338	Bodegas y oficinas	1	218
Total de residuos generados				84,802

Fuente: Orozco V. y Reinoso E.,2007.

Como resultado de este sismo, se realizaron modificaciones al Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México, el cual había sido creado en enero de 1920 y modificado en mayo de 1942 (Salcido I., 2019). Cabe destacar que estas modificaciones al Reglamento, no incluían medidas adicionales a las existentes en el texto de 1942 en materia ambiental, de manera particular aquellas que se refieren a los residuos de la construcción y la demolición (RCD), sin embargo, a partir de ese momento se marcó una pauta, pues ha sido una constante que después de un sismo que produce afectaciones a la Ciudad de México, se evidencian las omisiones y errores en las construcciones y se realicen ajustes a este importante documento. Como era de esperarse la mayoría de los colapsos ocasionados por el sismo de 1957, se ubicaron en la Zona III o del lago, debido al suelo blando de esta región, de manera particular en la alcaldía Cuauhtémoc, como se muestra en la Figura 8.

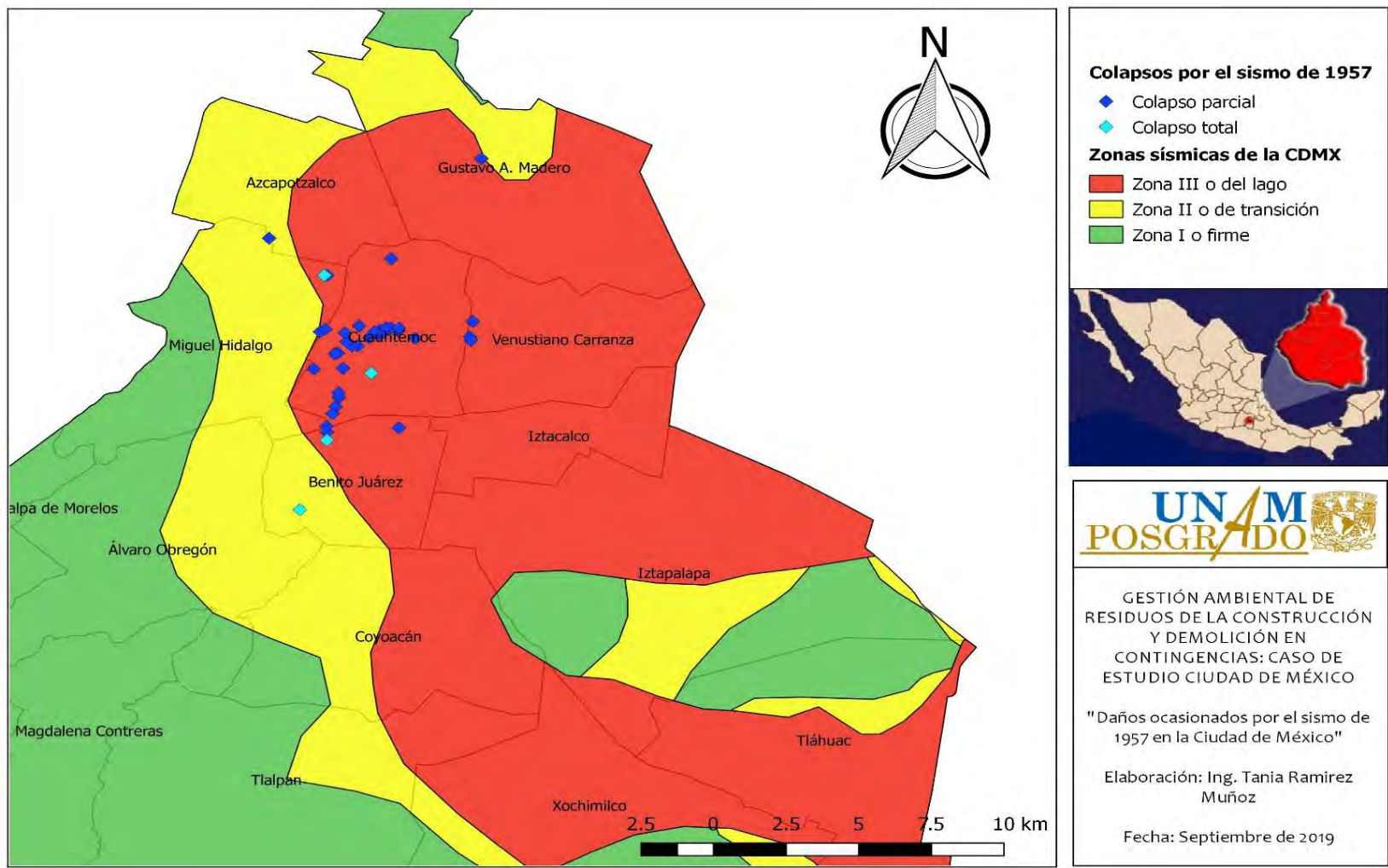


Figura 8. Representación de los colapsos parciales y totales ocasionados por el sismo de 1957 en la Ciudad de México

Fuente: elaboración propia a partir de Orozco V. y Reinoso E.,2007

1.4.2 El sismo del 19 de septiembre de 1985

El jueves 19 de septiembre de 1985 la Ciudad de México fue sacudida por un violento sismo, la magnitud del sismo fue de 8.1 en la escala de Richter. Uno de los estudios más completos realizados tras el sismo, fue dirigido por la Fundación ICA, en el cual se hizo una cuantificación de los daños y éstos se clasificaron en: colapso total, cuando la edificación quedó arrasada; colapso parcial. Algunos de los edificios emblemáticos que fueron colapsados o en su caso destruidos por sus graves daños fueron el Hotel Regis (hoy Plaza de la Solidaridad), Hospital Juárez y el Hospital General (Figura 9). Por la dimensión de la catástrofe, la respuesta del gobierno de Miguel de la Madrid fue catalogada como lenta e insuficiente. El propio De la Madrid tardó 36 horas en dirigirse a la nación. Ante ello, la sociedad civil, de modo espontáneo se une en las labores de rescate de los sobrevivientes y remoción de residuos.



Figura 9. Daños ocasionados por los sismos de septiembre de 1985.
Fuente: *El Universal*, 2019. <https://interactivo.eluniversal.com.mx/sismo85-afectaciones/>

Se cuantificaron 757 estructuras dañadas de las 53 358 existentes en la Ciudad de México (Tabla 4). Para facilitar la recopilación de daños, la Ciudad de México fue dividida en 10 sectores y al igual que en el análisis de daños ocasionados por el sismo de 1957, se realizó un análisis de las estructuras por el número de niveles. La alcaldía Cuauhtémoc, fue la más afectada de todas, incluyendo las colonias Obrera, Doctores, Roma, Condesa e Hipódromo. Asimismo, aquellos edificios que contaban con más de seis niveles fueron los más dañados.

Respecto al número de víctimas, los datos son inciertos. El 20 de septiembre, la Secretaría de la Defensa Nacional afirmó que había 2000 muertos, después el Servicio Sismológico Nacional subrayó que hubo 40000 muertos y alrededor de 4000 personas rescatadas de los escombros (Allier E., 2018).

Tabla 4. Descripción de estructuras dañadas en los sismos de septiembre de 1985

Sector	Descripción	No. niveles	No.	Estimación de RD generados (m ³)
Sector 1	Limitado por la Av. Insurgentes y Paseo de la Reforma; incluyendo las colonias Tránsito, Tepito y Morelos.	1	13	2,834
		4	30	26,160
		7	38	57,988
		10	26	56,680
		12	7	18,312
Sector 2	Limitado a poniente por las calles de San Antonio Abad.; al norte por el Circuito Interior; al oriente por la Calzada de la Viga y al sur por el Viaducto Miguel Alemán	1	111	24,198
		4	24	20,928
		7	18	27,468
		10	6	13,080
		12	6	15,696
Sector 3	Limitado al norte por las calles de José María Izazaga; al oriente por San Antonio Abad; al sur por el Viaducto Miguel	1	128	27,904
		4	61	53,192
		7	18	27,468

Sector	Descripción	No. niveles	No.	Estimación de RD generados (m ³)
	Alemán y al poniente por Av. Cuauhtémoc, incluyendo las colonias Obrera, Doctores y otras.	10	12	26,160
		12	6	15,696
Sector 4	Definido por la Av. Paseo de la Reforma al norte; por Cuauhtémoc al oriente; por el Viaducto Miguel Alemán al sur, incluyendo las colonias Roma, Norte y Sur, Condesa e Hipódromo, entre otras.	1	35	7,630
		4	44	38,368
		7	47	71,722
		10	18	39,240
		12	2	5,232
Sector 5	Limitado por la calle Crisantema al norte; por Av. Insurgentes al Oriente, la Av. Paseo de la Reforma al sur y el Circuito Interior al poniente, incluyendo las colonias Cuauhtémoc, San Rafael y Santa María de la Ribera.	1	1	218
		4	5	4,360
		7	3	4,578
		10	3	6,540
Sector 6	Definido por la Av. Insurgentes al poniente; Calzada Nonoalco al norte; Paseo de la Reforma al Oriente y Av. Puente de Alvarado al sur, abarcando la Col. Guerrero.	1	44	9,592
		4	8	6,976
		7	2	3,052

Sector	Descripción	No. niveles	No.	Estimación de RD generados (m ³)
Sector 7	Definido por Av. Insurgentes al poniente; la calle de Manuel González al norte; el Paseo de la Reforma al oriente y la Calzada Nonoalco al sur, comprende el conjunto habitacional Nonoalco-Tlatelolco.	12	2	5,232
Sector 8	Limitado al poniente y al norte por el Circuito Interior; al oriente por Paseo de la Reforma y Calzada de Guadalupe y al sur por las calles de Manuel, incluyendo la colonia ex Hipódromo de Peralvillo.	1	2	436
		4	1	872
		7	1	1,526
Sector 9	Comprende el Conjunto Habitacional Presidente Juárez al poniente de Av. Cuauhtémoc.	7	1	1,526
		10	3	6,540
		12	1	2,616
Sector 10	Limitado al norte por el Viaducto Miguel Alemán; al oriente por Calzada de la Viga; al sur las calles de Independencia y al poniente por Av. División del Norte, incluye las colonias Álamos, Postal, Nativitas, Narvarte y del Valle entre otras	1	12	2,616
		4	6	5,232
		7	8	12,208
		10	4	8,720
TOTAL				658,796

Fuente: Fundación Ica, 1988.

Respecto a los daños en función del número de niveles, en la Figura 10 se muestra que los edificios que resultaron más dañados fueron aquellos que tenían 2 niveles o menos.

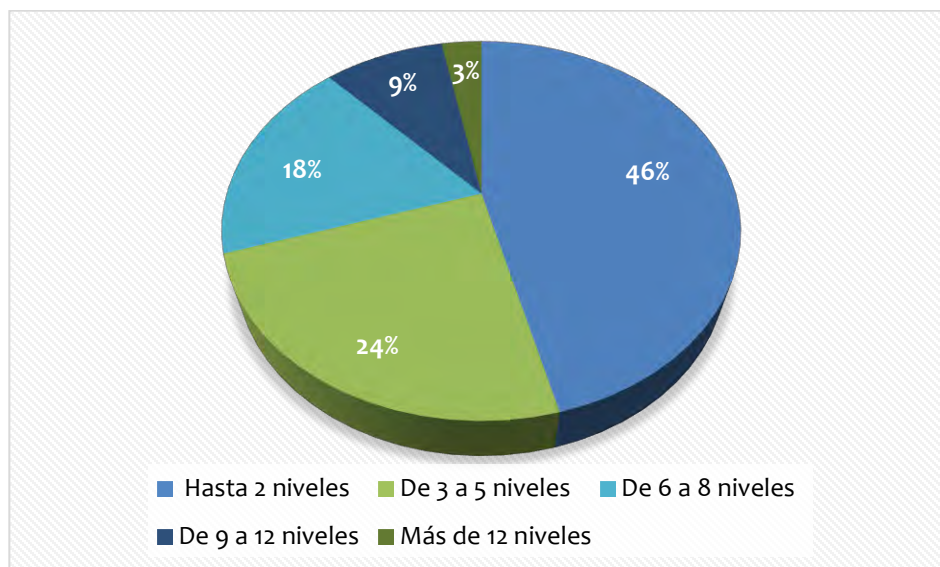


Figura 10. Porcentaje de edificios dañados por el sismo de 1985, de acuerdo con su número de niveles.

Fuente: elaboración propia a partir de Fundación Ica, 1988.

En las zonas de desastre casi todas las secretarías y sus respectivas brigadas se encargaron de la remoción de escombros debido a que por orden presidencial todos los esfuerzos estaban enfocados en salvaguardar la vida humana y para ello era necesaria la remoción de escombros de manera manual, sin embargo, no se encontraron registros sobre el manejo de los residuos generados, de manera principal en la delegación Cuauhtémoc (Figura 11). De igual manera que en el sismo de 1957, se estimó una generación promedio de 218 m³ RD por nivel, lo que equivale a una generación total estimada de 658, 796 m³ RD por las 757 estructuras dañadas a causa de este sismo.

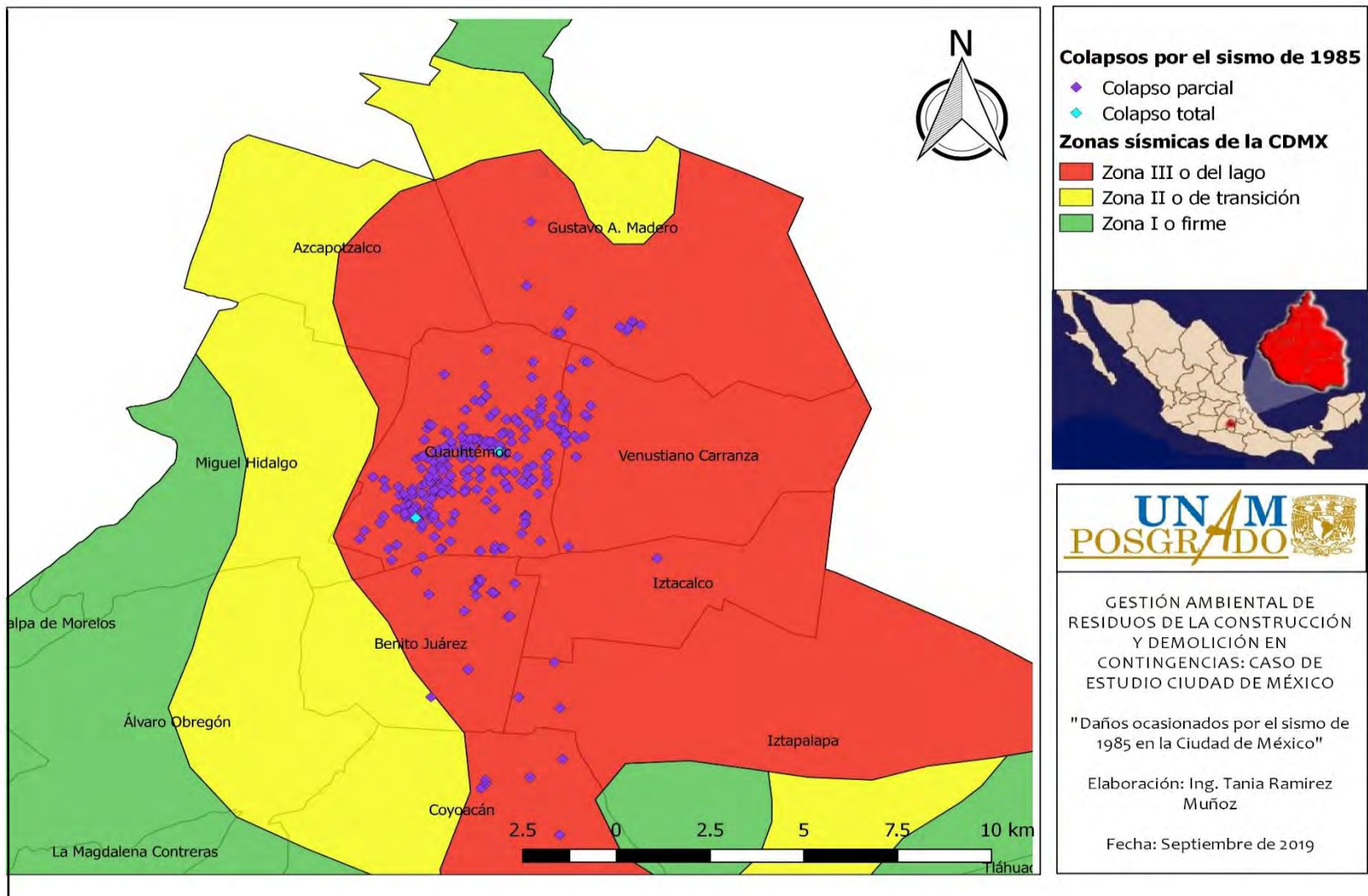


Figura 11. Representación de los colapsos parciales y totales ocasionados por el sismo de 1985 en la Ciudad de México.
 Fuente: elaboración propia a partir de Fundación Ica (1988).

1.4.3 El sismo del 19 de septiembre de 2017

El día 19 de septiembre de 2017 ocurrió un sismo con una magnitud de 7.1 grados en la escala de Richter, y si bien el sismo no fue tan fuerte como el ocurrido unos días antes frente a la costa chiapaneca, fue mucho más destructivo para la Ciudad de México debido a que su epicentro se localizó a un kilómetro de San Felipe Ayutla, Puebla, a unos cientos de kilómetros de la capital. Fue por ello que muchos de los daños se localizaron al sur de la ciudad, algo que no había ocurrido con anterioridad (Allier E., 2018).

Este sismo provocó la muerte de 228 personas sólo en la Ciudad de México y se determinó que 3,393 inmuebles de tipo habitacional fueron afectados en la ciudad, de los cuales 2,006 se clasificaron como inmuebles habitables, 808 inmuebles no habitables que pueden ser rehabilitados, 519 inmuebles habitables y 60 son inmuebles inhabitables que no pudieron ser rehabilitados (CDMX, 2018), además de los daños ocasionados, el desastre evidenció la necesidad de mejorar los esquemas de aseguramiento y la gestión integral de riesgos ante sismos (Figura 12 y 13).



Figura 12. Daños ocasionados por el sismo del 19 de septiembre de 2017.
Fuente: El Universal, 2017.



Figura 13. Daños ocasionados por los sismos de septiembre de 2017.
Fuente: El Universal, 2017.

A diferencia de los eventos anteriores, en este sismo se hizo uso de las tecnologías de información para dar seguimiento de las acciones de recuperación, se crearon diversas plataformas digitales en donde se reportaron los principales daños y después se realizaron las acciones de reconstrucción y financiamiento disponible, algunas de esas plataformas FUERON: Plataforma CDMX³, Fuerza México⁴, Datos Abiertos⁵, Mapa Digital de Daños de INEGI, sección de desastres⁶ y el Portal de la Secretaría de Obras y Servicios (SOBSE)⁷ de la Ciudad de México. Sin embargo, las cifras reportadas sobre las afectaciones no coincidían entre ellas, lo cual evidencia la descoordinación entre dependencias de gobierno federales y estatales, a pesar de ello, el detalle de la información obtenida fue más detallada que en los pasados desastres, por ejemplo, la SOBSE publicó el número de derrumbes y demoliciones que se hicieron a largo de un año, el cual ascendió a 78 y además reportó la cantidad de RD retirados de cada zona. Por ello, para determinar el número de derrumbes y daños mayores de este estudio se emplearon las cifras proporcionadas por la SOBSE, así como la georreferenciación detallada por INEGI (*Figura 14*) y fueron completadas por

³ <https://reconstruccion.cdmx.gob.mx/>

⁴ <https://www.transparenciapresupuestaria.gob.mx/es/PTP/fuerzamexico>

⁵ <https://datos.gob.mx/busca/dataset?tags=sismo>

⁶ <http://gaia.inegi.org.mx/desastres/?v=bGF00jE5LjMyOTQxLGxvbjotOTkuMjA2NTksejo4>

⁷ <https://www.obras.cdmx.gob.mx/comunicacion>

los datos de Salcido I.,2019, de manera particular, los referidos al número de niveles de los edificios derrumbados y demolidos (Tabla 5). Los RD recolectados reportados por la SOBSE ascienden a 104,808 m³.

Tabla 5. Descripción de estructuras dañadas en el sismo de septiembre de 2017

Ubicación	Niveles	Departamentos	Tiempo empleado (días)	Fecha de término	RD recolectados (m³)
Margaritas No. 72. Gustavo A. Madero	2	-	4	Noviembre 2018	350
Paseo de los Granados 76, colonia Paseos de Taxqueña, Coyoacán	8	12	45	Noviembre 2018	1,400
Hacienda la Escalera 5, colonia Prado Coapa Segunda sección, Tlalpan	6	10	-	Noviembre 2018	1,308
Av. México 105, colonia Hipódromo	8	17	45	Noviembre 2018	1,000
Paseo de los , Laureles 187, Paseos de Taxqueña, Coyoacán	11	32	75	Octubre 2018	4,800
Gitana 480, Col del Mar, Tláhuac	2	Casa habitacional	13	Octubre 2018	436
Viaducto Miguel Alemán 67, Col. Roma Sur, Cuauhtémoc	8	18	48	Octubre 2018	2,000

Ubicación	Niveles	Departamentos	Tiempo empleado (días)	Fecha de término	RD recolectados (m ³)
Calle Norte No.4539, col Nueva Tenochtitlán	2	Casa habitación	10	Octubre 2018	125
Cuatro inmuebles: Paseo de los Laureles, Viaducto Miguel Alemán, Avenida México, Dr. Lucio.	12, 9, 10 y 12	116	-	Septiembre 2018	9,372
Nicolás San Juan 308, Col. Del Valle, Del. Benito Juárez	8	10	66	Septiembre 2018	2,300
Juan de Dios Preza 147, Col. Obrera, Del Cuauhtémoc	1	2 habitaciones	-	Septiembre 2018	150
Colegio Enrique Rebsamen	3	-	-	Septiembre 2018	920
Luis Butimea 9, Col. Santa Martha Acatitla	2	-	12	Agosto 2018	436
Dos edificios en Pacifico 223, Col. El Rosedal, Coyoacán	4 y 3	40	41	Agosto 2018	3,300
Paseos de Taxqueña y del Valle	6	16	39	Agosto 2018	650
Azores 609, Col Portales	6	16	31	Agosto 2018	200
Antonio Narro Acuña 33, Col. Industrial	2	-	2	Julio 2018	300

Ubicación	Niveles	Departamentos	Tiempo empleado (días)	Fecha de término	RD recolectados (m³)
Nicolás San Juan 308, Col. Narvarte, Benito Juárez	9	-	-	Julio 2018	1,962
Galicia 245, Los Álamos, Benito Juárez	8	20	-	Julio 2018	1,744
3 edificios en Paz Montes de Oca 93, General Manuel Anaya, Benito Juárez	6, 6 y 6	24	200	Junio 2018	3,923
Hamburgo 112, Colonia Juárez, Del Cuauhtémoc	8	-	-	Junio 2018	1,900
Monrovia 1207, Col Portales, Del Benito Juárez	6	-	39	Junio 2018	612
Sinaloa 120, Col Roma Norte Del Cuauhtémoc	5	-	34	Mayo 2018	1,100
Xola 32, Col Álamos, Del Benito Juárez	9	26	-	Mayo 2018	1,450

Ubicación	Niveles	Departamentos	Tiempo empleado (días)	Fecha de término	RD recolectados (m³)
Hacia Pastejé 35, Coyoacán	6	-	40	Mayo 2018	1,308
Paseo del Río No. 10, Coyoacán	11	24	-	Mayo 2018	6,000
Avicultura 242, Col 20 de noviembre	1	-	-	Mayo 2018	218
Ayutla 221, Col San Felipe	1	-	21	Mayo 2018	218
2 edificios de División del Norte 4120	6 y 4	-	-	Mayo 2018	1,000
Ignacio Zaragoza 83, Col Pueblo San Juan de Aragón	1	-	2	Mayo 2018	45
Calle sur 69, colonia Banjidal, delegación Iztapalapa	4	-	60	Mayo 2018	872
Amsterdam 107, colonia hipódromo	8	-	-	Abril 2018	1,744
Balsas 18, Miravalle 913	3	-	-	Abril 2018	654
Calle 323, no. 655, delegación Gustavo A. Madero	1	-	2	Abril 2018	96
Melchor Ocampo 288	6	-	37	Abril 2018	1,308

Ubicación	Niveles	Departamentos	Tiempo empleado (días)	Fecha de término	RD recolectados (m³)
2 edificios en Doctor Lucio 103, col. Doctores, Del Cuauhtémoc	7 y 9	-	80	Abril 2018	8,500
Prosperidad No. 4, col Escandón, Del. Miguel Hidalgo	7	-	35	Abril 2018	1,526
Tercera cerrada de palomares	6	-	45	Marzo 2018	1,308
2 edificios en Gral. Manuel Rincón 142, col. General Anaya	2 y 3	-	90	Marzo 2018	1,090
Calle Toluca 28, col. Roma Sur	9	-	-	Marzo 2018	1,962
2 edificios en Sonora 164, col Hipódromo de la Del. Cuauhtémoc	4 y 6	-	32	Marzo 2018	2,180
Doctor Lucio 103, Col Doctores, Del Cuauhtémoc	16	56	-	Marzo 2018	3,487
Génova 33, Col Juárez, Del Cuauhtémoc	12	-	120	Marzo 2018	2,615
	8, 5 y 11	-	72	Marzo 2018	5,231
			50		

Ubicación	Niveles	Departamentos	Tiempo empleado (días)	Fecha de término	RD recolectados (m³)
Enrique Rebsamen 249, otro entre calles colima y salamanca y el tercero en la col. Jardines de Coyoacán			16		
Puebla 277, Col. Roma Norte, Del Cuauhtémoc	4	-	-	Febrero 2018	872
Edificio 1C Multifamiliar Tlalpan	5	-	-	Febrero 2018	1,090
2 edificios en Azores 609	4 y 4	-	51	Febrero 2018	994
Álvaro Obregón 284	5	-	44	Febrero 2018	1,090
Nápoles 48, Col Juárez, Del Cuauhtémoc	7	-	-	Enero 2018	1,700
2 edificios en Patricio Sanz 37, Col del Valle Norte, Del. Benito Juárez	8 y 10	-	39	Enero 2018	3,923
2 edificios en Calzada de la Viga 1756, Col. Héroes de Churubusco, del Iztapalapa, y Escocia 29, Del Coyoacán.	8 y 8	-	95	Enero 2018	3,000
	8	-	60	Enero 2018	1,744

Ubicación	Niveles	Departamentos	Tiempo empleado (días)	Fecha de término	RD recolectados (m³)
Sonora 149, colonia Hipódromo, Alcaldía. Cuauhtémoc					
2 casas en Escocia 33, Col. Parque San Andrés, Del. Coyoacán	2 y 2	Casas habitacionales	16	Enero 2018	872
Coquimbo 911, Col. Li-avista, Del Gustavo A. Madero	8	-	60	Diciembre 2017	2,500
Tokio 517, Col. Portuñales, Del Benito Juárez	12	-	100	Diciembre 2017	2,615
Puebla 280, Col. Roma Norte	2	-	-	Diciembre 2017	436
Concepción Beistegui 1503, Col Narvarte Poniente, Del Benito Juárez	4	-	12	Octubre 2017	872
TOTAL					104,808

Fuente: elaboración propia a partir de SOBSE, 2018 y Salcido I., 2019.

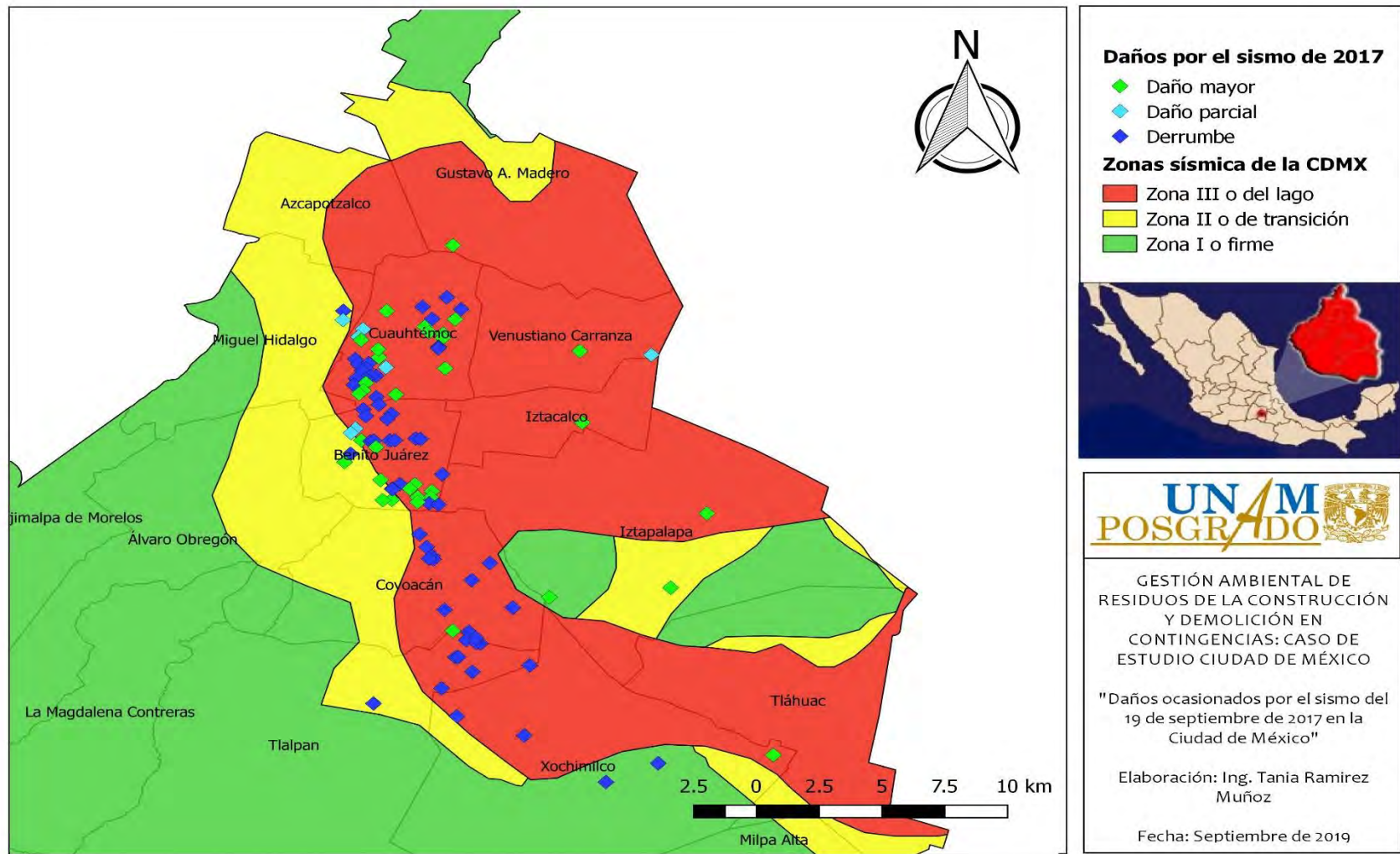


Figura 14. Representación de los daños ocasionados por el sismo del 19 de septiembre de 2017 en la Ciudad de México.

Fuente: elaboración propia a partir de INEGI, 2018.

La SOBSE reportó en su portal tanto edificios que se derrumbaron por el sismo, como aquellos que fueron demolidos por los severos daños que tenían y a diferencia de los sismos anteriores, en este desastre hubo más derrumbes y demoliciones de edificios de mayor altura, de entre 6 y 8 niveles (Figura 15), estas actividades se llevaron a cabo a lo largo de un año y comenzaron un mes después de haber ocurrido el sismo. En la mayoría de los casos, se reportó el tiempo empleado para llevar a cabo las demoliciones y en pocos casos se hizo una descripción detallada de los edificios en donde se incluía el número de departamentos.

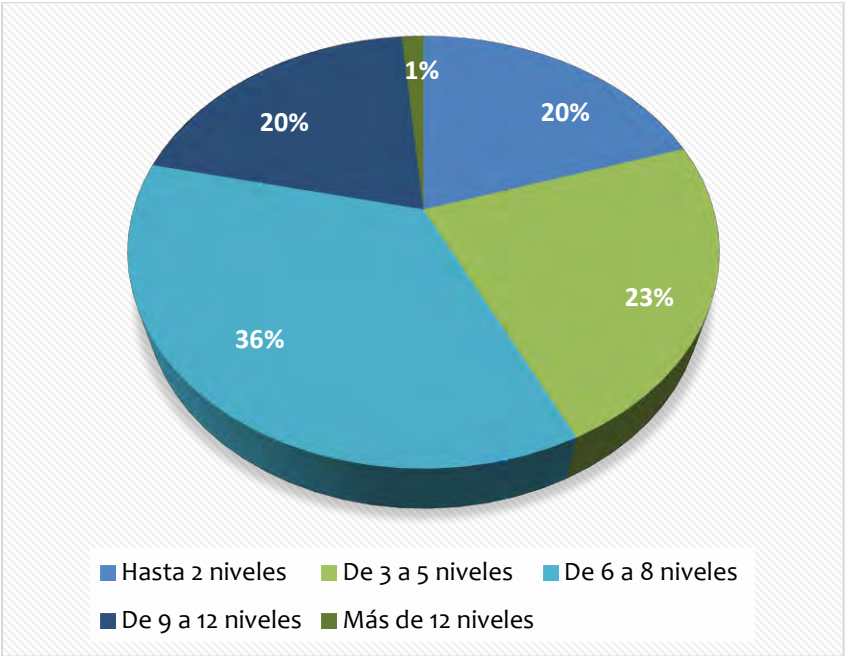


Figura 15. Porcentaje de edificios dañados por el sismo de 2017, de acuerdo con su número de niveles.

Fuente: elaboración propia a partir de SOBSE, 2018 y Salcido I., 2019.

Además de la cuantificación de derrumbes y daños mayores, otras de las primeras acciones realizadas por el Gobierno Federal y la Ciudad de México fue la Declaratoria de Emergencia Extraordinaria para las alcaldías de Álvaro Obregón, Azcapotzalco, Benito Juárez, Coyoacán, Cuajimalpa de Morelos, Cuauhtémoc, Gustavo A. Madero, Iztacalco, Iztapalapa, Magdalena Contreras, Miguel Hidalgo, Milpa Alta, Tláhuac, Tlalpan, Venustiano Carranza y Xochimilco, la cual fue emitida ese mismo 19 de septiembre por un comunicado de la Secretaría de Gobernación (SEGOB, 2017).

Para el segundo aniversario del sismo, el gobierno de la Ciudad de México presentó el Plan de Emergencia Sísmica, el cual planteó las acciones a realizar en una situación extrema de emergencia, como sería el caso hipotético de un sismo de 8 grados Richter, lo anterior con la finalidad de evitar la descoordinación observada en los sismos de 2017. El Plan plantea un Comité de Emergencias (conformado por diversas dependencias y presidido por la Jefa de Gobierno), además divide a la Ciudad de México en 5 regiones: norte (Gustavo A. Madero, Iztacalco y Venustiano Carranza), sur (Benito Juárez, Coyoacán y Tlalpan), centro (Cuauhtémoc), oriente (Iztapalapa, Milpa Alta, Tláhuac y Xochimilco) y poniente (Azcapotzalco, Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Magdalena Contreras y Miguel Hidalgo).

El plan considera que los elementos de la Secretaría de Marina (SEMAR), Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA) y de la Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (SSCP), entre otros, participarán en las acciones inmediatas después del sismo en las cinco regiones de la capital. Tanto el Comité como la Secretaría de Gestión de Riesgos y Protección Civil estarán a cargo del rescate en edificios colapsados, restablecer los servicios y crear refugios temporales y centros de acopio; mientras que la Secretaría de Obras en coordinación con alcaldías, Protección Civil y universidades se encargarán de evaluar los daños y revisar edificios. Cabe destacar que durante la presentación de este Plan no se hizo referencia al manejo de los RCD generados después de un sismo, sin embargo, el Plan considera que sean capacitados 5 mil funcionarios públicos y 1254 personas que se encargaran de atender los puntos críticos, con la finalidad de proporcionar atención inmediata al menos en 415 puntos en donde haya un edificio colapsado. Estos funcionarios podrían significar una diferencia en el adecuado manejo de los RCD si cuentan con la capacitación necesaria.

1.4.4 Análisis del manejo de residuos de la construcción y la demolición generados en los sismos ocurridos en la Ciudad de México

1.4.4.1 Generación

La mayor parte de la información disponible sobre los sismos que han ocurrido en el país es sobre los daños ocasionados en términos materiales, derrumbes y número de defunciones, cifras que con el paso del tiempo sufren modificaciones constantes y puede ser complicado realizar estimaciones sobre la cantidad de escombros o residuos de la construcción generados en estos desastres naturales. La “Guía para la gestión de Residuos Sólidos en Situaciones de Desastre” publicada por la OPS, indica que la

generación de residuos en una situación de desastre es muy variada; en zonas con elevado desarrollo urbano se estima una generación de 1 a 2 toneladas por metro cuadrado construido, con un promedio de 1.5 toneladas por metro cuadrado, en zonas residenciales, la proporción va de 0.5 a 1 tonelada por metro cuadrado construido, lo cual depende de la proporción de materiales empleados en cada localidad. Para estimaciones de volumen, se considera que se generan 0.5 m³ de materiales por cada metro cuadrado de construcción (OPS, 2003). También existe software para arquitectos e ingenieros civiles que pueden estimar la generación de RCD en obras nuevas por metro cuadrado construido. Sin embargo, ambas metodologías presentan una limitante, en las dos opciones es necesario conocer los metros cuadrados construidos y este dato puede ser complicado de obtener si no se visualiza la estructura colapsada o se obtiene información directa de los habitantes del sitio. Asimismo, este tipo de estimación no pudo ser realizada en el presente estudio, debido a que SOBSE, 2018 no reportó los metros cuadrados de construcción, sino el volumen de RD recolectados, cifra que estimó a partir del número de camiones que salían del sitio de derrumbe. Este método podría ser quizás más práctico en una situación de desastre.

De acuerdo con Pérez M. A., 1985 a 21 días después de haber ocurrido el sismo del 28 de julio de 1985, se retiraron 100,000 toneladas de escombros del Distrito Federal (ahora Ciudad de México), sin embargo, no se encontró un registro de la cantidad de residuos totales generados por este evento, es incluso probable que no exista un registro que brinde mayor certeza, ya que, según lo reportado por Capital Digital, 2017, la remoción de escombros tardó casi 10 años. De acuerdo con la estimación realizada en este estudio la cifra reportada por Pérez M. A., 1985 pudo ser incluso 6 veces mayor.

Por el contrario a la falta de información sobre la cantidad de RD generados por el sismo de 1957, para el sismo del 19 de septiembre de 2017, la disponibilidad de medios de comunicación masivos permitió obtener más información sobre la cantidad de RD generados en cada punto, los cuales de acuerdo con la SOBSE ascienden a 105,903 m³. Es importante resaltar que la generación de residuos por edificio derrumbado es muy variada, pues dependerá del tamaño del mismo y los materiales empleados en la construcción, de manera particular para el sismo de 2017 en promedio se generaron 1731 m³ de RD con un límite superior máximo de 3244 m³ y un límite inferior mínimo de 220 m³ por edificio (Figura 16) y 218 m³ por nivel (cifra empleada en este estudio), con un límite superior máximo de 347 m³ y un límite inferior mínimo de 83 m³ (Figura 17). Algunas prácticas a nivel internacional pueden ser muy útiles, tal como lo establecido en la guía

“Planning for natural disaster debris” que recomienda la estimación de la generación de residuos empleando la herramienta I-WASTE (EPA, 2008), en la cual se introduce el tipo de edificación colapsada (oficinas, escuelas, hospitales, hoteles, plazas comerciales u otro), los metros cuadrados de construcción y/o el número de ocupantes, así como particularidades del edificio. Con esta información la herramienta puede proporcionar un dato aproximado de la generación de residuos y su composición.

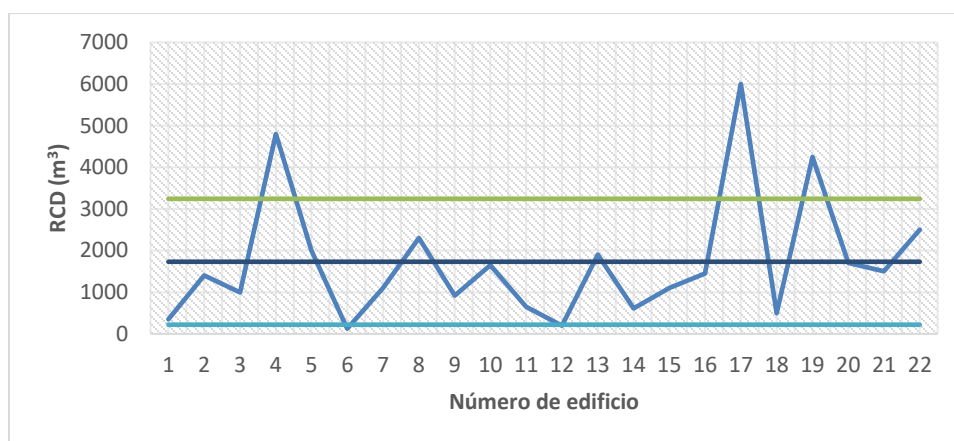


Figura 16. Residuos de la construcción y demolición generados por edificio derrumbado en el sismo de septiembre de 2017.

Fuente: elaboración propia a partir de SOBSE, 2018.

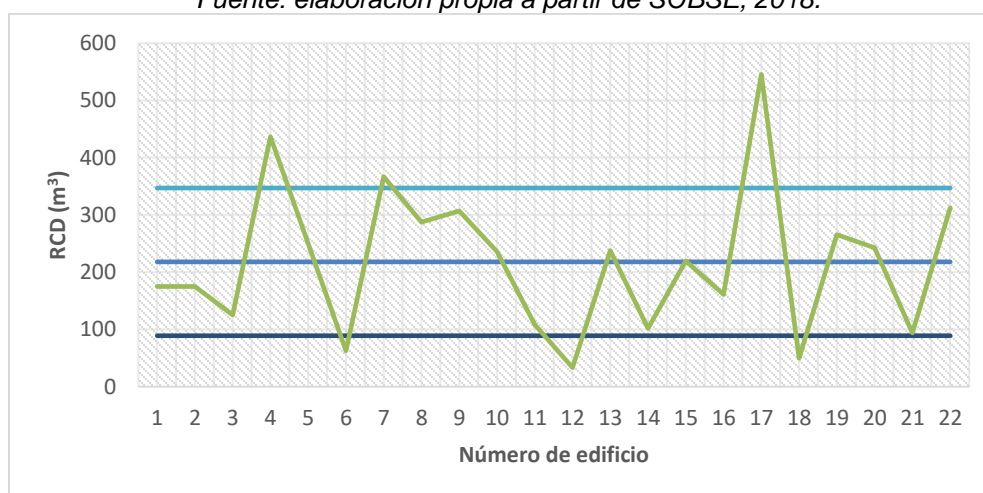


Figura 17. Residuos de la construcción y demolición generados por cada nivel de edificios colapsados en el sismo de septiembre de 2017.

Fuente: elaboración propia a partir de SOBSE, 2018.

1.4.4.2 Almacenamiento temporal y recolección

Después de haber ocurrido el sismo de 1985, habitantes de las colonias Olivar del Conde, Colinas del Sur, Villa Verdún, Lomas de Tarango y la Unidad Habitacional FOVISSTE, protestaron porque había toneladas de escombros acumulados en esa zona, con un fuerte

olor a putrefacción (En siempre!, 1985), estos casos se presentaron debido a que los escombros se quedaban en la misma zona de desastre o en predios aledaños a la misma, debido de manera particular a que se dio prioridad de rescatar la vida humana y después se procedía al retiro de los RCD de la zona para enviarlos a disposición final, asimismo la capacidad de recolección era limitada. Este proceso tardó años, por lo cual podría incluso decirse que no se trataba de almacenamiento temporal sino disposición temporal de los RD y escombros en general que podían permanecer en el sitio mucho tiempo (

Figura 18). Para la recolección de estos, la Secretaría de Marina actuó de manera inmediata de conformidad con su plan de emergencia SM-A-85. De acuerdo con este plan, la Secretaría aportó contingentes para el acordonamiento de áreas de desastre, remoción de escombros, rescate e identificación de sobrevivientes y cadáveres.



Figura 18. Escombros del sismo de 1985.

Fuente: <https://news.culturacolectiva.com/noticias/archivo-del-terremoto-del-85-ximena-cuevas/>

Además, según lo reportado por diversos autores sobre el sismo, durante las primeras horas después de ocurrido el desastre, se permitió la entrada de civiles a las zonas más dañadas para la remoción de escombros, después se identificó que esta situación entorpecía la recolección y la búsqueda de sobrevivientes, por tanto se decidió permitir la entrada a las brigadas de rescate, además, no se permitió la entrada de camiones para evitar posibles derrumbes adicionales y se contempló la posibilidad de convertir en áreas verdes los lugares que ocuparon los edificios (El Herald de México, 1985). Esta situación se repitió en el sismo de 2017, en la cual hasta septiembre de 2019 no se habían terminado de recolectar los escombros.

A nivel internacional, Japón ha sido un ejemplo en el almacenamiento temporal de los de RCD en casos de desastres; para el sismo de la costa del Pacífico en Tohoku ocurrido en marzo de 2011, los escombros generados fueron concentrados de manera intensa y coordinada en áreas específicas donde se clasificaban de acuerdo con el tipo de material para que fueran reciclados y reusados de manera posterior (*Figura 19*), para ello se empleó maquinaria pesada y se siguieron procedimientos y normas para la remoción, clasificación y reúso de escombros que existen en Japón desde hace décadas (UNAM, 2012).



Figura 19. Vistas de la devastación desde el memorial de Yuriage y de los trabajos de remoción y clasificación de escombros.

Fuente: UNAM, 2012

Para la reubicación de los escombros generados tras este sismo, el gobierno japonés incluso estableció límites de tiempo para esta actividad (5 meses para la reubicación a sitios temporales de residuos que puedan significar un peligro para la vida y un año para otros residuos).

1.4.4.3 Disposición Final

De acuerdo con Pérez M. A. (1985), 100,000 toneladas de escombros fueron retiradas del Distrito Federal (ahora Ciudad de México) por el sismo de 1985, se amontonaron en terrenos baldíos, jardines y la vía pública y después fueron llevados a la laguna de Xochiaca.

Asimismo, después del sismo de septiembre de 2017, diversos medios de comunicación informaron sobre la inadecuada disposición de los escombros, por ejemplo, los escombros de un edificio colapsado en la alcaldía Álvaro Obregón en la Ciudad de México, terminó en un sitio de disposición no controlado de Chalco, Estado de México (Narcia A., 2017). También, Sandoval F. (2017) comunicó el traslado y depósito de residuos de este tipo de residuos en el Relleno Sanitario de Bordo Poniente, el cual fue clausurado a finales de 2011 por encontrarse al límite de su capacidad”. En respuesta a este sismo, la SEMARNAT expidió una guía (SEMARNAT, 2017) con una serie de criterios para el manejo de RCD derivados del fenómeno natural, dirigido a las autoridades estatales de México, Morelos, Puebla y Ciudad de México, la cual incluyó criterios para:

1) *La ubicación de sitios de disposición final y almacenes temporales*: los cuales no debían ser ubicados dentro de áreas naturales protegidas, barrancas, marismas, manglares, esteros, pantanos, zonas de inundación, aguas superficiales y otros criterios establecidos en la NOM-083-SEMARNAT-2003 sobre especificaciones para sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos. De manera adicional, debían ubicarse en un rango no mayor a 25 km al centro de la zona de desastre, en sitios donde el paisaje no se encuentre impactado o degradado tales como minas y canteras abandonadas y zonas de suelos poco productivos.

2) *Operación de los sitios de disposición final (SDF) y almacenes temporales*: aunque la guía realiza la aclaración de que los RCD pueden ser utilizados como material para caminos perimetrales e interiores, así como material de cubierta en rellenos sanitarios, también propone criterios para la disposición de residuos en SDF mediante la conformación de taludes, donde se establezca un control de la entrada, se prohíba la entrada de materiales o elementos mezclados con otros residuos, como residuos líquidos, tóxicos, peligrosos o hidrocarburos. El SDF además deberá contar además con obras hidráulicas que permitan el adecuado drenaje de las aguas de escorrentía, horarios de recepción de residuos, y de manera preferente realizar el riego con agua tratada y contar con señalización.

3) *Aprovechamiento y reciclaje de escombros*: para lograr el aprovechamiento de los RCD, la guía recomienda que las autoridades realicen convenios con empresas constructoras que puedan estar interesadas en la incorporación de estos materiales a sus procesos de producción, para ello además recomienda la adecuada clasificación y separación de los

RCD y evitar contaminarlos con otros residuos como textiles, plásticos o madera. Estas recomendaciones son muy importantes, sin embargo, habrá que considerar que los RCD ya están mezclados por la misma naturaleza de su origen.

4) Saneamiento y clausura de sitios de disposición final: en este punto se indican acciones para el correcto cierre de los SDF de RCD, la cual debe ser conforme al uso final que se pretenda dar al sitio, que podría ser utilizado para áreas verdes y deportivas, así como establecer un programa de mantenimiento de la cobertura final de clausura y drenajes superficiales y un programa de actividades para la recuperación del sitio.

Aunque esta guía menciona acciones para cada una de la etapas de manejo, no propone acciones específicas o establece tiempos en los que se deben de cubrir estas actividades, incluso el propio documento fue publicado 10 días después de haber sucedido el sismo de 2019, asimismo no establece un mecanismo de coordinación entre dependencias federales o estatales, tampoco se incluye indicadores que puedan verificar el avance en el manejo de los RCD o metas sobre el reciclaje y tratamiento de los mismos.

1.5 Legislación nacional en materia de RCD

Cabe destacar que no se cuenta con ningún instrumento regulativo sobre manejo de RCD en caso de sismos o de cualquier otra contingencia, sin embargo, a nivel federal y estatal si hay leyes y normas que regulan a los RCD en condiciones ordinarias, estos instrumentos podrían ser modificados para que también incluyan el manejo de residuos en caso de contingencias.

- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)

En su artículo 7 establece que corresponde a los Estados, las siguientes facultades:

- I. La regulación de los sistemas de recolección, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos e industriales que no estén considerados como peligrosos.
- II. La participación en emergencias y contingencias ambientales, conforme a las políticas y programas de protección civil que al efecto se establezcan.

- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)

El artículo 19 de esta ley incluye a los residuos de la construcción, mantenimiento y demolición en general en la clasificación de residuos de manejo especial (RME). Asimismo, establece en su artículo 9 que, es facultad de las Entidades Federativas autorizar el manejo integral de los RME.

- Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-201, Que establece los criterios para clasificar a los residuos de manejo especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo.

Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria para todo el territorio nacional y establece los elementos y procedimientos para la elaboración e implementación de los planes de manejo de los RCD y otros RME, así como los procedimientos para que las Entidades Federativas y sus Municipios soliciten la inclusión o exclusión de RME al listado de esta Norma.

- Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-007-RNAT-2013, que establece la clasificación y especificaciones de manejo para residuos de la construcción y demolición en el Distrito Federal

Esta Norma tiene por objeto establecer la clasificación y especificaciones de manejo de los RCD para optimizar y minimizar su disposición final inadecuada, la cual es de carácter obligatorio para los generadores de RCD y prestadores de servicio que intervienen en su generación, recolección, transporte, aprovechamiento o disposición final en la Ciudad de México. Algunos de los puntos más relevantes de esta norma son:

- I. Clasifica a los generadores de RDC de acuerdo con el volumen generado: hasta 3 m³; más de 3 m³ y hasta 7 m³; y más de 7 m³. Para los dos primeros tipos de generadores, se solicita dar aviso a las alcaldías del inicio de obra y cumplir con lo indicado en el programa de la alcaldía, además se solicita contar con un manifiesto de entrega-recepción por parte del prestador de servicios de transporte y una carta responsiva por parte del centro de acopio; mientras que para el tercer tipo de generador se solicita contar con un plan de manejo propio autorizado y en su caso con la autorización en materia de impacto ambiental, así como un manifiesto de entrega-recepción por parte del centro de acopio.

- II. Se clasifican los RCD en 5 tipos: los provenientes de concretos hidráulicos y morteros, mezclados, los provenientes de fresado de concreto asfáltico, residuos de la excavación, aquellos que pueden clasificarse como residuos sólidos urbanos y otros.
 - III. Se establecen especificaciones para las siguientes fases de manejo: separación en la fuente generadora de residuos, almacenamiento temporal, recolección y transporte, tratamiento, aprovechamiento y disposición final.
 - IV. Se considera obligatoria la incorporación de material reciclado y/o reusable en el proyecto ejecutivo de las siguientes obras públicas y privadas: construcción de banquetas, guarniciones y bordillos; plantillas y firmes de concreto y elaboración de suelo cemento en rellenos especiales.
- Reglamento de construcciones para el Distrito Federal, 1993.

Este reglamento está dirigido a las obras de construcción, instalación, modificación, ampliación, reparación y demolición, así como el uso de las edificaciones y reservas de los predios del territorio del Distrito Federal (ahora Ciudad de México), los capítulos del Reglamento que abordan el manejo de los RCD son los siguientes:

- I. Capítulo 2: En esta sección del Reglamento se establece que no se autorizará el uso de las vías públicas para depósito de residuos, así como cualquier otra actividad u obra que ocasionen molestias a los vecinos, tales como la producción de polvos, humos, malos olores, gases, ruidos y luces intensas.
- II. Capítulo 9: Establece que todo propietario o poseedor de un inmueble tiene obligación de denunciar ante el Departamento del Distrito Federal los daños de que tenga conocimiento que se presenten en dicho inmueble, como los que pueden ser debido a efectos del sismo, viento, explosión, incendio, hundimiento, peso propio de la edificación y de las cargas adicionales que obran sobre ellas, o a deterioro de los materiales e instalaciones.
- III. Capítulo 10: El cual indica que los residuos deberán ser retirados en su totalidad en un plazo no mayor a 28 días hábiles contados a partir del término de la demolición y bajo las condiciones que establezcan las autoridades correspondientes en materia de vialidad y transporte.

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la “Guía para la Gestión Integral de los Residuos de la Construcción y la Demolición en Caso de Sismos”, se siguió la siguiente metodología.

2.1 Etapa 1: Elaboración de Diagnóstico

En esta etapa se consultó la bibliografía actual en materia de sismología para describir las características sísmicas del país, con énfasis en la Ciudad de México. Después se revisó la bibliografía para identificar la cantidad de RCD en sismos anteriores, así como el manejo de estos.

Una vez que se revisó la información disponible, se analizó la cantidad de RD generados por edificio y por nivel, para poder hacer una estimación en aquellos sismos en donde no se dispone de información.

A partir de esta información se realizó lo siguiente:

- Geolocalización de derrumbes en cada uno de los sismos empleando el software QGIS, resaltando la zonificación sísmica de la Ciudad de México.
- Análisis de las zonas más afectadas en los registros históricos.
- Identificación de los actores que participaron en el manejo de los RCD en sismos previos, tiempos de reacción y lecciones aprendidas.
- Análisis del manejo integral de los RCD en sismos previos.

2.2 Etapa 2: Identificación de actores clave en la gestión de RCD y elaboración de encuestas

Para definir el mecanismo de coordinación que habrá que seguirse para la correcta gestión de los RCD en caso de sismos, se identificó a los actores clave a nivel estatal de acuerdo con sus atribuciones y roles identificados en la Etapa 1, además se elaboró y envió una encuesta (Anexo 1) para determinar las atribuciones y capacidades de cada una de las dependencias identificadas. Para finalizar, se analizaron los resultados de las encuestas (Anexo 2) y fueron armonizados con la estrategia de comunicación propuesta en el Plan de Emergencia Sísmica de la Ciudad de México, la cual, hasta el momento de su publicación en septiembre de 2019, no abordaba con claridad cuál sería el manejo de estos residuos en caso de presentarse un sismo.

2.3 Etapa 3: Descripción de cada una de las etapas de manejo de los RCD

Para cada una de las etapas de manejo de los RCD, se desarrolló una serie de recomendaciones de acuerdo con la bibliografía existente a nivel nacional e internacional. De manera particular, para la etapa de generación, se realizaron las siguientes actividades:

- *Generación de RCD en caso de sismos:* Se revisaron técnicas geoespaciales que pudieran servir de apoyo a las técnicas tradicionales para cuantificar los RCD de manera rápida, después de la revisión, se seleccionó la técnica de “fotogrametría” empleando vehículos aéreos no tripulados-VANT (conocidos de manera común como drones), debido a la velocidad de esta técnica y la información adicional que podría obtenerse.

La metodología para operar los VANT se desglosó en la guía y a manera de ejemplo se desarrolló una prueba piloto, para ello se realizó lo siguiente:

- Selección de sitio piloto para el empleo de la técnica de “fotogrametría con VANT” en la cuantificación de RCD
- Trabajo de campo y levantamiento topográfico como apoyo
- Estimación de RCD empleando el software “Agisoft”
- Análisis de resultados

2.4 Etapa 4: Elaboración de Análisis de Ciclo de Vida de los residuos generados en un sismo

Cuando se trata de evaluar el manejo de los RCD después de un sismo, es inevitable dejar de lado otro tipo de residuos que se mezclan con estos cuando ocurre un derrumbe a casusa de un sismo, sin embargo, si se realiza una adecuada clasificación de los residuos estos pueden ser valorizados y evitar que se conviertan en un foco de contaminación ambiental.

Para identificar los beneficios de realizar el tratamiento de los residuos generados en un sismo se realizó un Análisis de Ciclo de Vida siguiendo la metodología establecida en la ISO 14040 y 14044, para ello se realizaron las siguientes actividades:

- Definición de objetivo y alcance: La definición de estos puntos permite dar una idea clara al lector sobre el caso de trabajo. En este estudio el objetivo consiste en comparar tres posibles escenarios del manejo de 1000 t de residuos generados después de un sismo.

- Establecimiento de los límites del sistema: En este punto se determinaron las etapas del ciclo de vida de los residuos que forman parte del estudio
- Definición de la unidad funcional: El planteamiento de la unidad funcional es un aspecto clave y de forma general es el producto o servicio para evaluar. En este caso la unidad funcional consideró el manejo de 1000 t de residuos.
- Integración del Inventario: El inventario consideró todo el proceso para el tratamiento de los RCD, para ello se realizó una consulta a la empresa “Concretos Reciclados S.A. de C.V.”, de manera particular sobre la maquinaria, operaciones unitarias realizadas y recursos empleados.
- Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida: Para realizar la evaluación del impacto se empleó el software libre OpenLCA, utilizando la información proporcionada de “Concretos Reciclados S.A. de C.V.” para la fracción de RCD.
- Interpretación de resultados: Se realizó la interpretación de los resultados para cada una de las categorías de impacto.

2.5 Etapa 5: Análisis de resultados e integración de Guía para la Gestión Integral de los RCD

Se realizó un análisis de los resultados obtenidos, así como de la bibliografía consultada y se integró una Guía para la Gestión Integral de los RCD en caso de sismos, distinguiendo dos fases críticas: la previa y la posterior a un sismo en la Ciudad de México.

Las etapas del manejo de residuos consideradas son las siguientes:

- Generación; almacenamiento temporal; clasificación; recolección; transporte; tratamiento y disposición final.

2.6 Etapa 6: Recomendaciones y conclusiones

De acuerdo con la literatura revisada a nivel nacional e internacional se realizaron algunas recomendaciones para la adecuada gestión integral de los RCD en caso de sismos, que podrían ser adaptadas en caso de otras contingencias.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en la prueba piloto para la cuantificación de RCD empleando la técnica de fotogrametría con vehículos aéreos no tripulados, así como su proceso de cálculo empleando el software Agisoft Photoscan, además se analizan tres diferentes escenarios para el manejo de los residuos después de un sismo, empleando un Análisis de Ciclo de Vida.

3.1 Prueba piloto para la cuantificación de RCD empleando la técnica de fotogrametría con vehículos aéreos no tripulados

Se realizó una prueba piloto para probar la metodología de fotogrametría usando VANT para la cuantificación de RCD en un predio localizado al Norponiente de la Alcaldía Miguel Hidalgo, Ciudad de México, en las coordenadas geográficas 19°28'22" de latitud norte y 99°11'56" de latitud oeste. El predio se ubica dentro del área del Parque Bicentenario, en lo que antes fue la Refinería de 18 de marzo (Figura 20). El predio en su totalidad ocupa un área de 2.2 Ha y tiene las siguientes colindancias:

- Al Norte con la Av. 5 de mayo
- Al Este con terrenos del Parque Bicentenario
- Al Sur con el lago del Parque Bicentenario
- Al Oeste terreno del Parque Bicentenario



Figura 20. Identificación del predio de estudio. Fuente: elaboración propia.

En la actualidad el predio está siendo evaluado para construir una planta de tratamiento de RCD y se seleccionó debido a que ahí se almacena este tipo de residuos y se obtuvo el permiso para volar el VANT. Para realizar el vuelo se empleó el VANT DJI Phantom 4 PRO cuyas características se describen en la Tabla 6.

Tabla 6. Características del VANT DJI Phantom 4 PRO

Vehículo aéreo no tripulado DJI Phantom 4 PRO.	
Peso (batería y hélices incluidas)	1 388 g
Tamaño diagonal (sin hélices)	350 mm
Velocidad de ascenso máx.	Modo-S: 6 m/s (19.7 ft/s) Modo-P: 5 m/s (16.4 ft/s)
Velocidad de descenso máx.	Modo-S: 4 m/s (13.1 ft/s) modo-P: 3 m/s (9.8 ft/s)
Velocidad máx.	72 km/h (45 mph) (modo-S) 58 km/h (36 mph) (modo-A) 50 km/h (31 mph) (modo-P)
Ángulo de inclinación máx.	42° (Modo-S) 35° (Modo-A) 25° (Modo-P)
Velocidad angular máx.	250°/s (Modo-S) 150°/s (Modo-A)
Altura máx. de servicio sobre el nivel del mar	6 000 m (19 685 pies)
Resistencia al viento máx.	10 m/s
Tiempo de vuelo máx.	30 minutos aprox.
Rango de temperatura de funcionamiento	De 0 a 40 °C (de 32 a 104 °F)
Sistemas de posicionamiento por satélite	GPS / GLONASS

Rango de precisión de vuelo estacionario	Vertical: $\pm 0,1$ m (con posicionamiento visual) $\pm 0,5$ m (con posicionamiento por GPS) Horizontal: $\pm 0,3$ m (con posicionamiento visual) $\pm 1,5$ m (con posicionamiento por GPS)
------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

1. Planificación del vuelo

Fecha: miércoles 29 de mayo de 2019

Hora de inicio de vuelo: 12:30 pm

Velocidad del VANT: 15 m/s

Altura de vuelo: 115 metros

Superposición programada: 70%

Tipo de toma: Cenital



Figura 21. Preparación de vuelo del VANT. Fuente: elaboración propia.

2. Colocación de puntos de control:

Se distribuyeron 15 puntos de control en el predio y se colocaron marcas con cal de 1 metro *1 metro (Figura 22), con las siguientes coordenadas geográficas (Tabla 7).

Tabla 7. Puntos de control identificados en la prueba piloto

X	Y	Z	Punto
479076.9654	2153062.498	2243.349121	ESTACION 1
479191.755	2153072.445	2243.916992	BASE 1
479191.5575	2153056.241	2243.896729	1
479202.2164	2153085.776	2243.542725	2
479164.5318	2153096.276	2243.496094	3
479138.5992	2153092.642	2243.21582	4
479121.2227	2153062.558	2243.053467	5
479106.0742	2153106.274	2243.179688	6
479089.616	2153126.79	2243.259033	7
479072.0297	2153066.989	2243.378906	8
479067.7233	2153034.865	2243.470703	9
479111.2742	2153053.751	2244.636719	10
479126.5957	2153047.129	2245.549072	11

479140.985	2153024.624	2246.764648	12
479101.6326	2153021.274	2242.909668	13
479157.2796	2152999.074	2243.641113	14
479164.8909	2153044.257	2243.645996	15



Figura 22. Colocación de puntos de control. Fuente: elaboración propia.

3. Captura de fotografías: Se capturaron 70 fotografías del predio, considerando una superposición del 70% entre cada una de las imágenes (Figura 23)

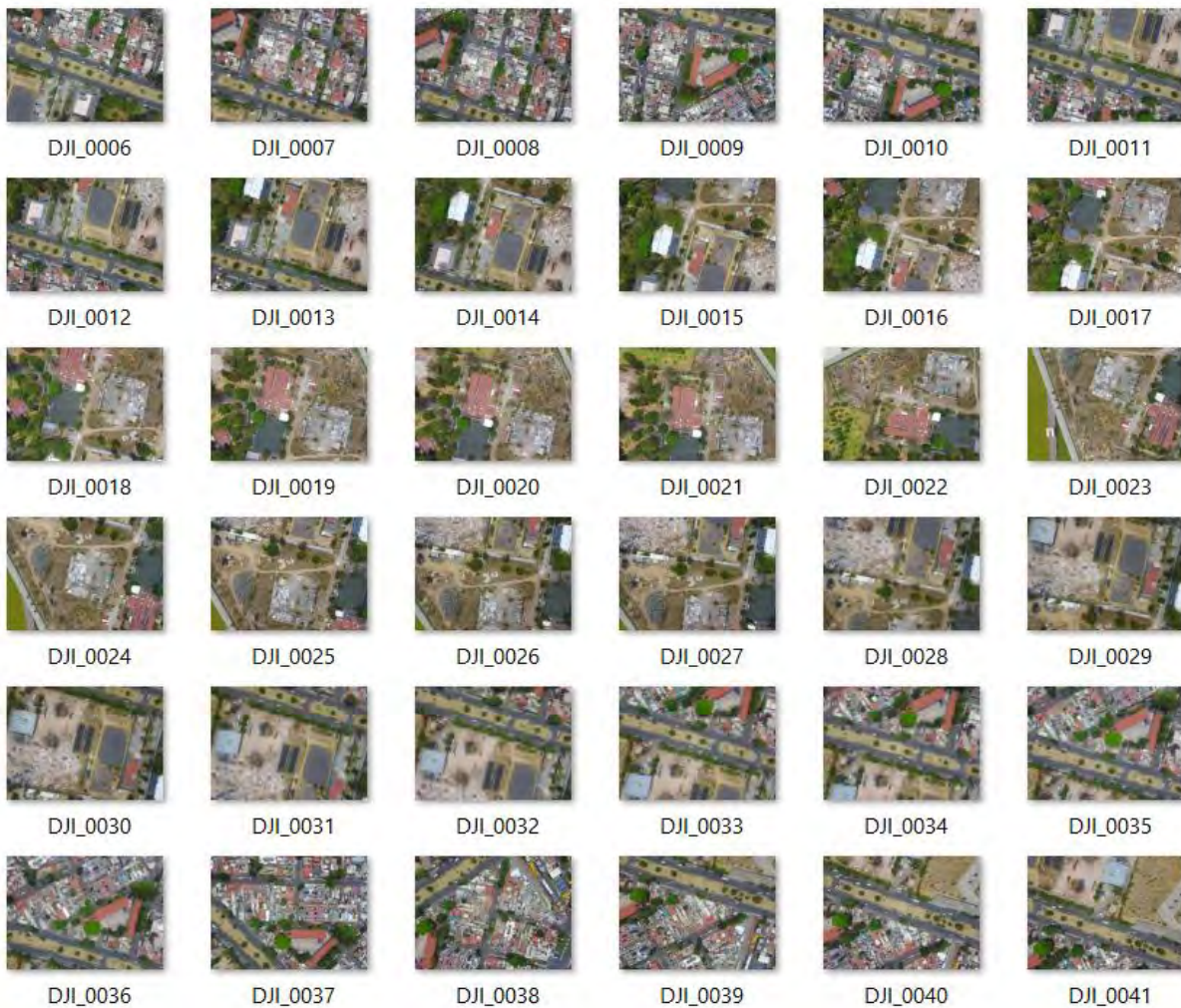


Figura 23. Fotografías capturas en el predio de estudio. Fuente: elaboración propia.



Figura 24. Carga de imágenes y generación de nube de puntos. *Fuente: elaboración propia.*

5. Aplicación de textura a la malla, empleando el software Agisoft Photoscan (Figura 25)

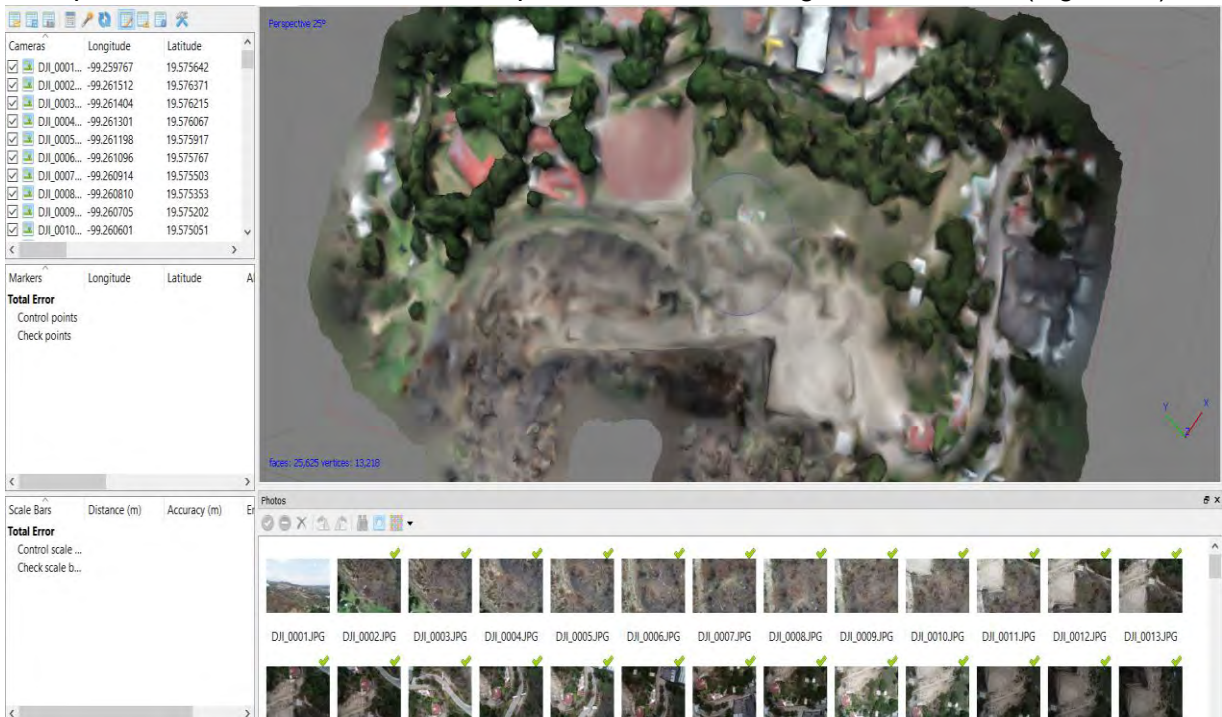


Figura 25. Aplicación de textura a la malla. *Fuente: elaboración propia.*

6. Generación de ortoimagen u ortofotografía: a partir de la nube de puntos y su posterior aplicación de textura a la malla, es posible construir una ortoimagen (Figura 26) la cual es una representación de un conjunto de imágenes aéreas georreferenciadas que pueden visualizarse de forma tridimensional.



Figura 26. Ortoimagen del predio de estudio capturado con el VANT. Fuente: elaboración propia.

7. Trazado del polígono y cálculo de volumen de RCD: Cuando se obtiene la ortoimagen, se traza un polígono sobre el área en donde se encuentran los RCD, y cuando se selecciona el polígono es posible obtener el volumen de los RCD que se encuentran dentro de este (Figura 27). Como resultado se obtiene un volumen de 4117 m³ de RCD en el predio piloto.

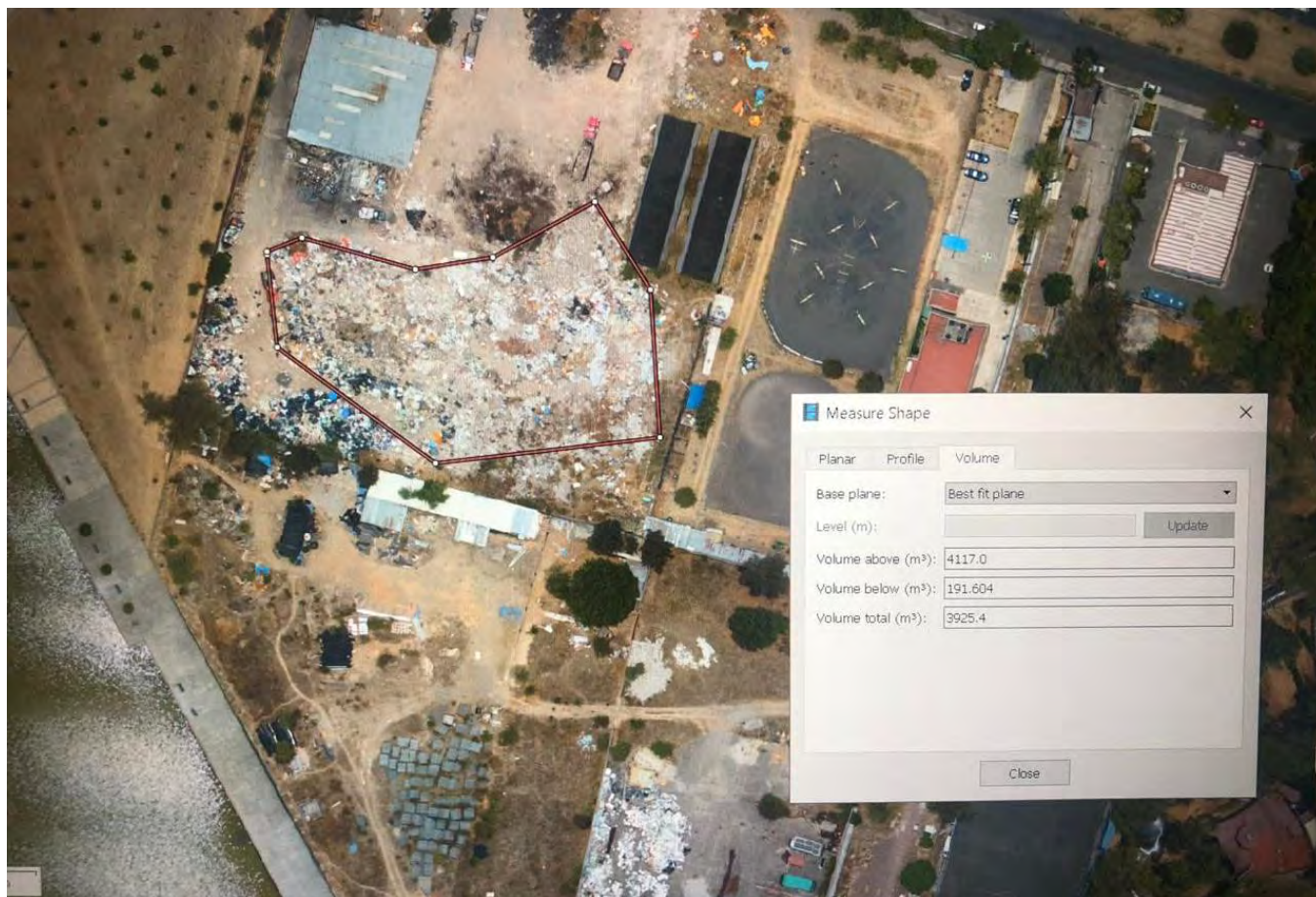


Figura 27. Cálculo de volumen de RCD a partir del polígono trazado. Fuente: elaboración propia.

3.2 Análisis de ciclo de vida de los residuos generados después de un sismo en la Ciudad de México

3.2.1 Objetivo

Comparar los impactos ambientales asociados al manejo de residuos después de un sismo para tres escenarios; 1) manejo de residuos sin considerar su tratamiento, 2) manejo de residuos considerando el 50% de tratamiento, 3) manejo de residuos considerando el 80% de tratamiento enfocado en la Ciudad de México, a través de un Análisis de Ciclo de Vida para identificar la mejor opción de manejo de los residuos después de un sismo.

3.2.2 Alcance

El análisis se enfoca en el manejo de residuos después de un sismo en la Ciudad de México que tiene una superficie de 1,495 km² y se divide en 16 alcaldías, asimismo se consideran los 30 SDF ubicados en el Estado de México y representados en la Figura 47.

3.2.3 Función del manejo de residuos después de un sismo

Se entiende como manejo integral de residuos a las actividades de reducción en fuente, separación, reutilización, reciclaje, co-procesamiento, tratamiento, acopio, almacenamiento, transporte y disposición final, realizadas de manera individual o combinadas de manera apropiada, para adaptarse a las condiciones y necesidades de cada lugar, cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social (SEMARNAT, 2003). La función principal de un adecuado manejo integral de los residuos es disminuir los efectos negativos de los residuos generados después de un sismo en el medio ambiente y la sociedad. En este estudio se comparan 3 escenarios diferentes sobre el manejo de los residuos que se generan después de un sismo con un enfoque particular en el porcentaje de residuos que se envían a tratamiento.

3.2.4 Unidad Funcional

La unidad funcional es el manejo de 1,000 toneladas de residuos generados por un sismo. Para seleccionar esta unidad funcional se tomaron en consideración otros estudios de análisis de ciclo de vida realizados a nivel internacional sobre manejo de residuos en caso de desastres (Amato *et al.* 2019, Wakabayashi *et al.* 2017) y manejo de residuos en condiciones ordinarias, de manera particular los RCD (Bizcocho 2014, Butera *et al.* 2015, Jain *et al.* 2020, Rosado *et al.* 2019).

3.2.5 Límites del sistema

En este estudio se considera que cuando ocurre un sismo, los residuos que se generan de manera inevitable estarán mezclados, por tanto, no se enfoca solo en los RCD e incluye las siguientes fracciones: residuos orgánicos, metales, papel y cartón, residuos eléctricos y electrónicos, madera y vidrio. Cabe destacar que no se encontraron registros sobre la composición de residuos después de un sismo a nivel nacional, por lo tanto, se utilizaron las fracciones antes señaladas y sus porcentajes correspondientes, reportadas por Brown *et al.* 2011 y el Ministerio de Medio Ambiente de Japón, después del “Gran Sismo del Este” en ese país (Ministry of the Environment of Japan 2018).

De acuerdo con Bovea & Powell 2016, es posible distinguir dos grupos de estudios sobre manejo de residuos: aquellos cuyo objetivo es evaluar el desempeño ambiental de diferentes escenarios para un mismo grupo de residuos (15%) y aquellos estudios cuyo objetivo es analizar el desempeño ambiental de un solo escenario para un grupo de residuos (75%). El objetivo de este estudio es comparar los impactos ambientales asociados al manejo integral de residuos después de un sismo para tres escenarios:

Escenario 1: Manejo de residuos sin considerar su tratamiento

Este escenario se ha presentado en los sismos de 1957, 1985 y 2017, en los cuales se generaron grandes volúmenes de residuos, estos permanecieron en los sitios de derrumbe hasta dos años y después eran recolectados y transportados a sitios de disposición final en el Estado de México, como se describe en el Diagnóstico de este estudio. Por lo tanto, no se consideró la clasificación y tratamiento de ninguna fracción de residuos, así como un almacenamiento temporal de 2 años. (Diagrama 1).

Escenario 2: Manejo de residuos considerando el 50% de tratamiento

Para este escenario se tomó en cuenta la experiencia de países desarrollados, en los cuales después de ocurrir un sismo, se logra recuperar hasta el 50% (500 t) de los residuos para su tratamiento y uso posterior, así como un almacenamiento temporal máximo de 6 meses en el sitio de derrumbe, para la posterior clasificación del 50% de los residuos en 6 fracciones (residuos orgánicos, metales, papel y cartón, residuos eléctricos y electrónicos, madera y vidrio), las cuales son recolectadas y enviadas a tratamiento. Se considera que el 50% restante de los residuos es enviado a disposición final. Los datos utilizados para el tratamiento de la fracción de RCD fueron obtenidos por comunicación directa con la

empresa Concretos de Reciclados S.A. de C.V. la cual está ubicada en la Ciudad de México. Para el resto de las fracciones, se utilizaron los datos de tratamiento de la base de datos “mexicv” (Diagrama 2).

Escenario 3: Manejo de residuos considerando el 80% de tratamiento

En este escenario se plantea el caso hipotético del tratamiento del 80% de los residuos generados en un sismo (800 t), por lo tanto, del mismo modo que en el escenario 1 se considera un almacenamiento temporal máximo de 6 meses en el sitio de derrumbe, para la posterior clasificación de los residuos generados en 6 fracciones (residuos orgánicos, metales, papel y cartón, residuos eléctricos y electrónicos, madera y vidrio), las cuales son recolectadas y enviadas a tratamiento. Los datos utilizados para el tratamiento de la fracción de RCD fueron los reportados por la empresa Concretos de Reciclados S.A. de C.V. y para el resto de las fracciones, se utilizaron los datos de tratamiento de la base de datos “mexicv” (Diagrama 3).

Escenario 1:

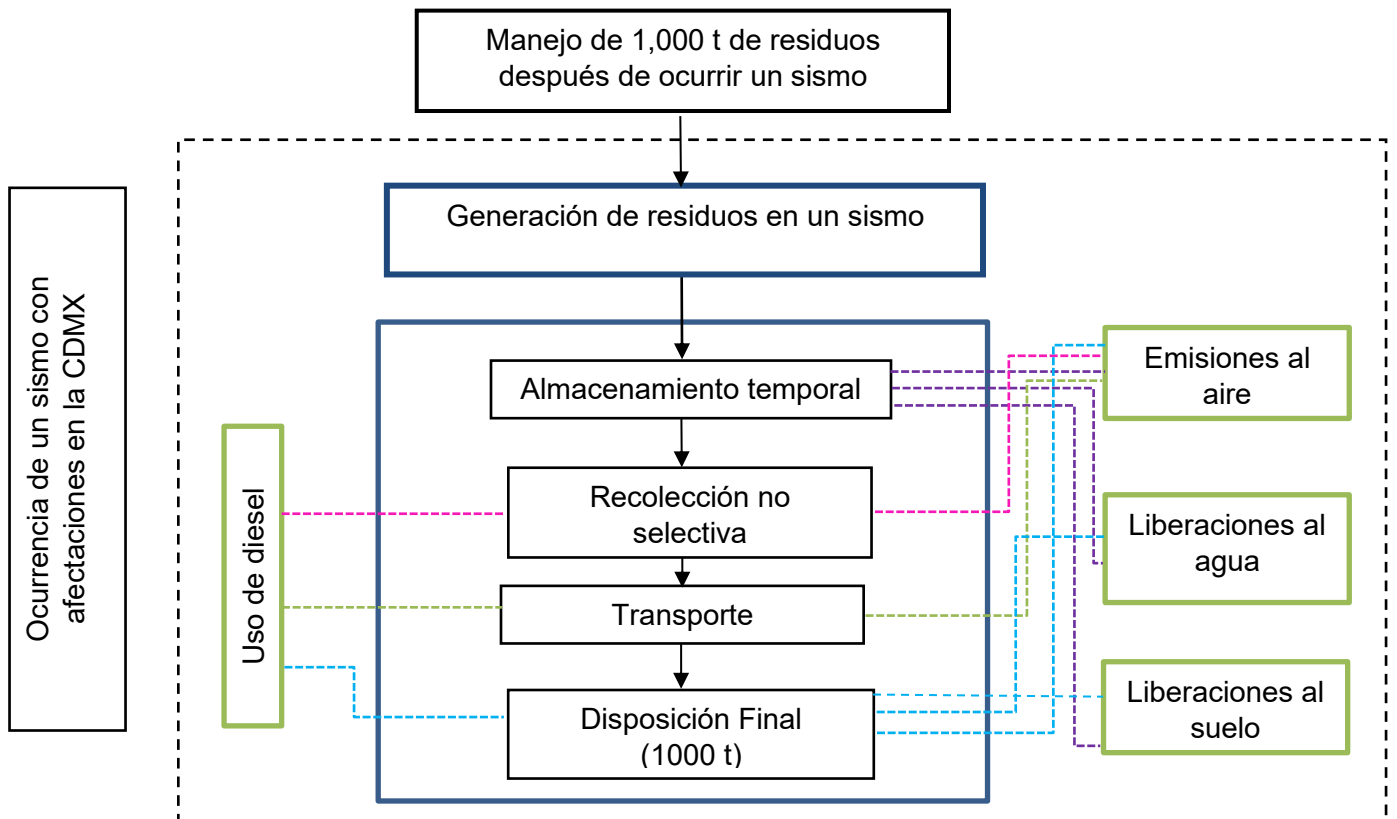


Diagrama 1. Manejo de residuos sin considerar su tratamiento. Fuente: elaboración propia

Escenario 2:

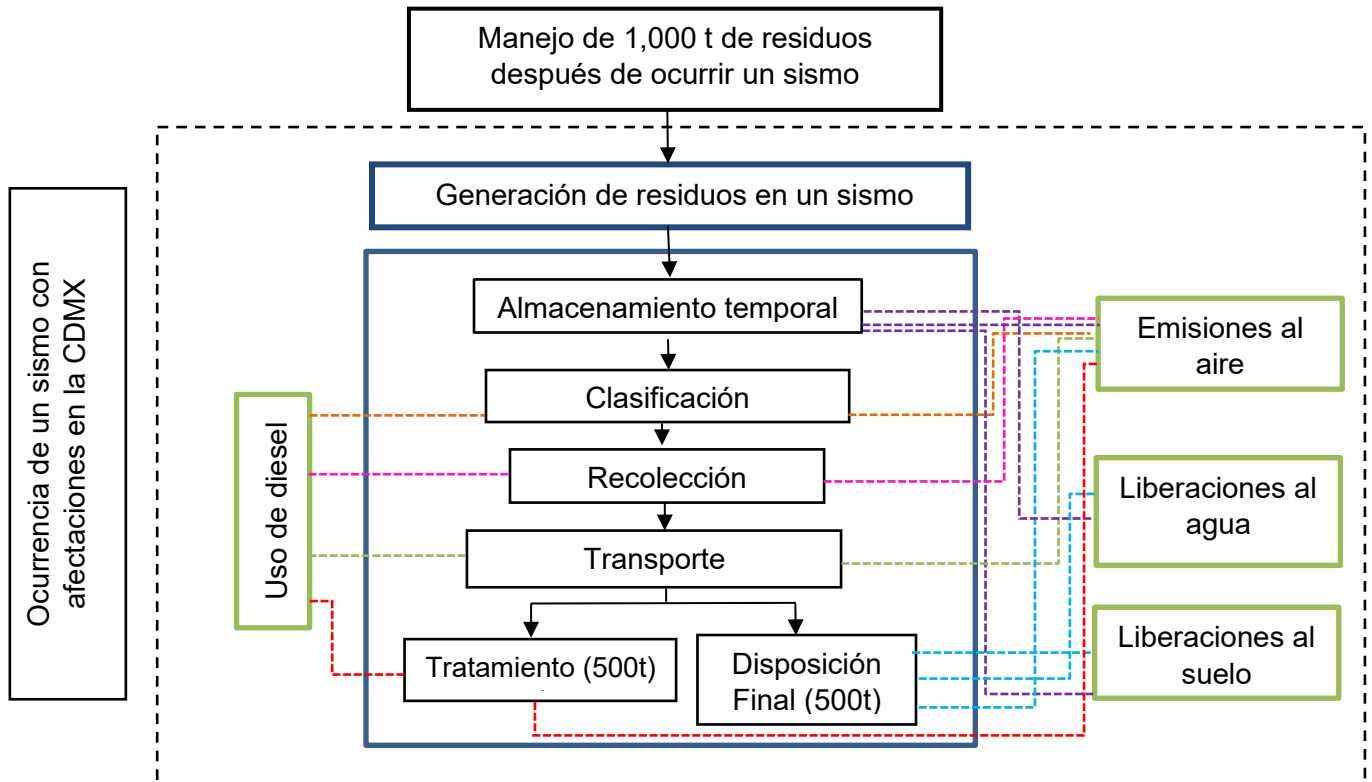


Diagrama 2. Manejo de residuos considerando el 50% de tratamiento. Fuente: elaboración propia

Escenario 3:

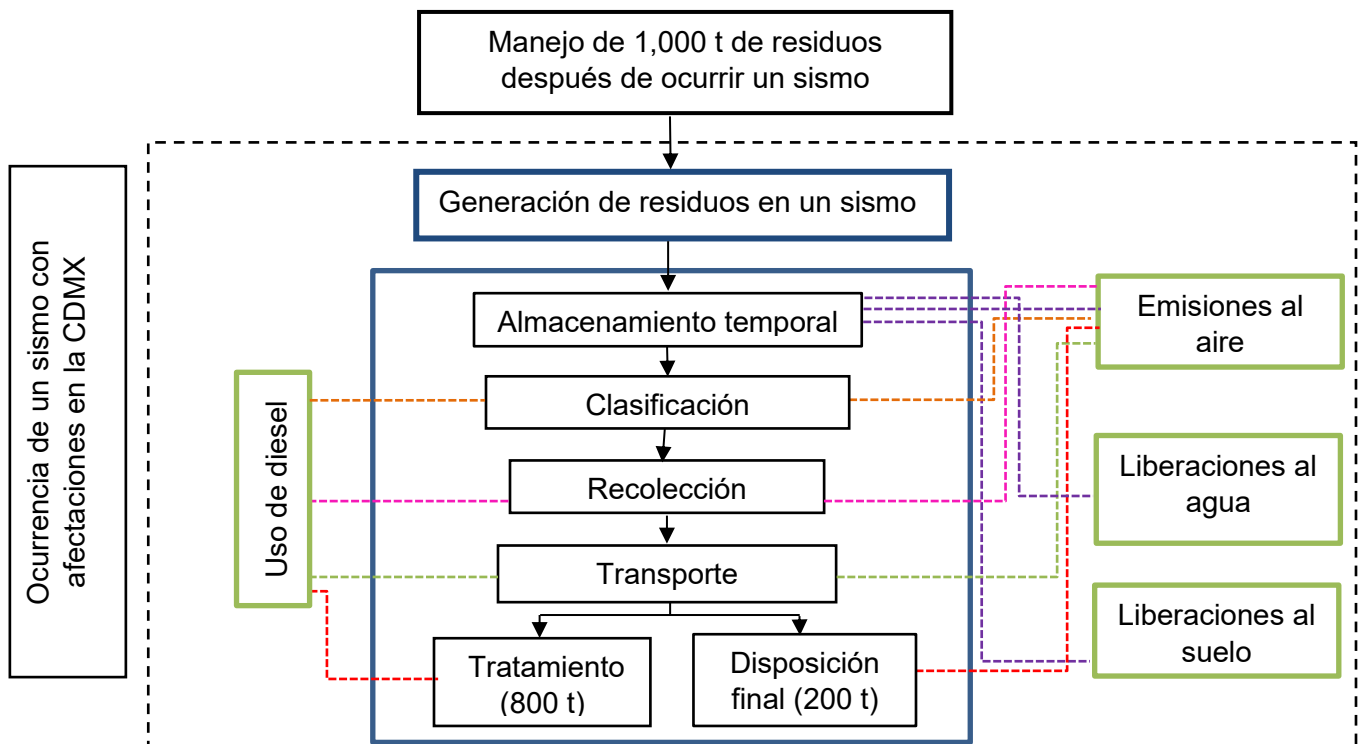


Diagrama 3. Manejo de residuos considerando el 80% de tratamiento. Fuente: elaboración propia

Almacenamiento temporal

Debido al largo periodo que permanecen los residuos en la zona de colapso, los impactos considerados en esta etapa son similares a una disposición final. De acuerdo con lo reportado por la SOBSE, 2018, en el sismo ocurrido en 2017, los RCD mezclados con otras fracciones de residuos, permanecieron hasta dos años en el mismo sitio del derrumbe, y estos no fueron recolectados hasta que se efectuaron las demoliciones de parte de las estructuras que permanecían de pie. Por tanto, se consideraron los parámetros descritos en la Tabla 8.

Clasificación

Con la finalidad de facilitar la valorización de algunos residuos como madera, metales y residuos electrónicos, además de retirar los residuos peligrosos, la segunda etapa para el escenario 2 es la clasificación de los residuos generados después de un sismo.

La clasificación de residuos se considera en los escenarios 2 y 3, en el cual se plantea que se realizará un tratamiento de los residuos que se generan en un sismo, del 80% en el escenario 2 y 50% en el escenario 3. Para llevar a cabo la separación de los residuos se consideró el uso excavadoras hidráulicas 320 Cat® (SOBSE, 2018) de 122 kWh (Caterpillar, 2017).

Recolección

En el escenario 1, se considera que la primera etapa es el almacenamiento temporal en el sitio de derrumbe y después la recolección. Para el escenario 2 y 3, una vez que la actividad de clasificación finaliza y los residuos han sido separado en diferentes fracciones, comienza la recolección y la carga de los RCD a las góndolas para su transporte, para ello se consideró el uso de excavadoras hidráulicas 320 Cat® de 122 kWh (Caterpillar, 2017).

Transporte

Para el escenario 1, en el cual no existe un tratamiento de los RCD, se consideró una distancia promedio de 64 km a partir de la alcaldía Cuauhtémoc (alcaldía con más afectaciones en sismos previos de acuerdo con la (Figura 8, Figura 11 y Figura 14) al SDF más alejado del Estado de México. Asimismo, para el escenario 2, se consideró una distancia promedio de 25 km de la alcaldía Cuauhtémoc hasta la empresa Concretos Reciclados S.A. de C.V. y una distancia promedio de 25 km a los centros de tratamiento de cada una de las fracciones valorizables. Para finalizar, los principales vehículos empleados

fueron las góndolas de $35 \text{ m}^3 \approx 46,200 \text{ t}$ de RCD, con un consumo de diesel promedio de 0.5 l/km .

Tratamiento

Para la etapa de tratamiento se consideró el proceso realizado por la empresa Concretos Reciclados S.A. de C.V. del Diagrama 4, el cual consta en la recepción de los RCD, su posterior almacenamiento, trituración, y cribado, para después continuar con el proceso de venta. Para ello se solicitó información a esta empresa sobre los equipos empleados, los cuales se describen en la Tabla 9. Como se mencionó de manera previa, para el resto de las fracciones de residuos se utilizaron los datos de tratamiento de la base de datos "mexicv".

Disposición final

De acuerdo con López A. y Lobo A. (2013), antes se creía que los SDF de RCD no ocasionaban impactos al medio ambiente, sin embargo, algunos componentes como el yeso, en condiciones anaerobias ocasiona la formación de SH_2 , el cual es un gas tóxico. Por tanto, analizaron durante 5 años el lixiviado y el biogás de un SDF, obteniendo los resultados de la Tabla 8.

Tabla 8. Caracterización de lixiviados

Parámetro	Unidades	SDF (Nava C., 2003)	SDF (USEPA,1995)	SDF (Meléndez B., 1996)	Promedio
pH	-	7.5	7.1	7.0	7.2
Conductividad	mS/cm	8.3	-	1.7	5
PR	mV	-89	-	-	-89
DQO total	mg/L	1571	11200	755	4508.6667
DQO disuelta	mg/L	1407	-	-	1407
DBO5 total	mg/L	227	320	87	211.33333
DBO5 disuelta	mg/L	99	-	-	99

Parámetro	Unidades	SDF (Nava C., 2003)	SDF (USEPA,1995)	SDF (Meléndez B., 1996)	Promedio
COT disuelta	mg/L	404	1080	307	597
Alcalinidad	mg CaCo3/L	3189	6520	965	3558
N-NH4	mg/L	401	305	13	239.66667
NT disuelto	mg/L	463	-	-	463
Sulfatos	mg/L	405	2700	254	1119.6667
ST	mg/L	4939	-	-	4939
SDT	mg/L	4860	8400	2263	5174.3333
SVT	mg/L	1619	275		947
SSV	mg/L	75	43000		21537.5
Calcio	mg/L	150	600	270	340
Sodio	mg/L	495	1510	163	722.66667
Cromo	µg/L	105	250	250	201.66667
Cadmio	µg/L	27	2050	32	703
Cobre	µg/L	28	620	20	222.66667
Zinc	µg/L	276	8630	657	3187.6667
Plomo	µg/L	987	2130	9	1042
Níquel	µg/L	59	170	20	83
Arsénico	µg/L	233	120	12	121.66667
Mercurio	µg/L	1.4	9	9	6.4666667

3.2.6 Inventario de Ciclo de Vida

Los datos de entrada para el software Open LCA para cada una de las etapas del proceso se indican en la Tabla 9.

Tabla 9. Datos de entrada para el software OpenLCA

Etapas del manejo integral de los residuos	Flujos de entrada			Fuente
	Escenario 1 (sin tratamiento)	Escenario 2 (tratamiento 50%)	Escenario 3 (tratamiento 80%)	
Almacenamiento temporal	530 t RCD 70 t madera 30 t metal 65 t orgánicos 65 t papel 120 t eléctricos y electrónicos 120 t vidrio	530 t RCD 70 t madera 30 t metal 65 t orgánicos 65 t papel 120 t eléctricos y electrónicos 120 t vidrio	530 t RCD 70 t madera 30 t metal 65 t orgánicos 65 t papel 120 t eléctricos y electrónicos 120 t vidrio	Brown <i>et al.</i> 2011 y Ministry of the Environment of Japan 2018 .
Clasificación	En este escenario los residuos no son clasificados	Excavadora hidráulica 320 Cat® 122 kWh	Excavadora hidráulica 320 Cat® 122 kWh	SOBSE 2018 y Caterpillar 2017
Recolección	Excavadora hidráulica 320 Cat® 122 kWh	Excavadora hidráulica 320 Cat® 122 kWh	Excavadora hidráulica 320 Cat® 122 kWh	SOBSE 2018 y Caterpillar 2017
Transporte	1000 t de residuos mezclados transportados a SDF 1,000 t *64 km	Residuos transportados a tratamiento:	Residuos transportados a tratamiento:	Cálculo propio
		265 t RCD 35 t madera 15 t metal 32.5 t orgánicos 32.5 t papel 60 t eléctricos y electrónicos 60 t vidrio	424 t RCD 56 t madera 24 t metal 52 t orgánicos 52 t papel 96 t eléctricos y electrónicos 96 t vidrio	
		1,000 t *64 km	500 t *25 km	500 t *25 km
		Residuos mezclados enviados a SDF: 500 t	Residuos mezclados enviados a SDF: 200 t	Cálculo propio

Etapa del manejo integral de los residuos	Flujos de entrada			Fuente
	Escenario 1 (sin tratamiento)	Escenario 2 (tratamiento 50%)	Escenario 3 (tratamiento 80%)	
		500 t*64 km	200 t*64 km	Cálculo propio a partir de SEDEMA, 2019
Tratamiento	En este escenario los residuos no son tratados	Residuos tratados: 265 t RCD 35 t madera 15 t metal 32.5 t orgánicos 32.5 t papel 60 t eléctricos y electrónicos 60 t vidrio	Residuos tratados: 424 t RCD 56 t madera 24 t metal 52 t orgánicos 52 t papel 96 t eléctricos y electrónicos 96 t vidrio	Cálculo propio
		Excavadora ¹ 140HP: 16l/h Cargadora ¹ frontal: 165 HP 18.85 l/h Triturador ¹ primario 360HP: 40l/h Triturador ¹ secundario 138 HP: 15.77l/h Criba ¹ 968 HP: 110lh	Excavadora ¹ 140HP: 16l/h Cargadora ¹ frontal: 165 HP 18.85 l/h Triturador ¹ primario 360HP: 40l/h Triturador ¹ secundario 138 HP: 15.77l/h Criba ¹ 968 HP: 110lh	Concretos Recicladados S.A. de C.V., 2019
Disposición final	1000 t	500 t	800 t	Caso de estudio

¹ información referente al tratamiento de RCD recibida de Concretos Recicladados S.A. de C.V., 2019 sobre el tratamiento de RCD

3.2.6 Selección del método y categorías de impacto

Existen numerosos métodos de evaluación de impacto de ciclo de vida (EICV) ya establecidos (p. ej. CML , ReCIPE, EDIP 2003, etc.), entre estos métodos se distinguen los que se desarrollan a nivel de punto central (midpoint) y a nivel de punto final (endpoint), estos son los métodos más usados, de forma general lo métodos de nivel midpoint son más

fiables, pero más difíciles de interpretar (Bizcocho, 2014). Los métodos midpoint son aquellos que usan categorías de indicadores enfocados al problema que los causa, mientras que los métodos endpoint se han diseñado tomando como punto de partida lo que se necesita para tomar decisiones y pueden expresarse los resultados con un solo valor (Pacheco et al., 2007). La mayoría de los estudios de análisis de ciclo de vida de RCD en condiciones ordinarias emplearon métodos Midpoint, de estos el método CML es por mucho el más utilizado (27% de 40 estudios revisados), seguido por el método el IPCC, ReCiPe, CED e IMPACT 2002. Fueron empleados en menor proporción, los métodos EndPoint, entre los cuales destacó el método Ecoindicator'99 (13% de ellos), seguido por el método IMPACT 2002, EPS2000 y Ecological Footprint (Bovea *et al.* 2016). En este estudio se seleccionó el método CML de acuerdo con lo observado en los estudios identificados.

Aunque no hay muchos estudios de análisis de ciclo de vida sobre el manejo de residuos después de un sismo o desastre natural, es posible analizar los estudios sobre manejo de RCD en condiciones ordinarias. De acuerdo con Bovea y colaboradores (2016), después de revisar 40 artículos, en 80% de ellos analizaron la categoría de cambio climático, 45% acidificación, 38% eutrofización, 30% oxidación fotoquímica, y 29% agotamiento de la capa de ozono, resultando estas categorías como las más relevantes y por lo tanto, se seleccionaron para el presente estudio (Tabla 10), además de estas categorías se identificaron otras en menor porcentaje como toxicidad, energía, agua, agotamiento de los recursos, material particulado, uso de suelo, metales pesados, entre otros.

Tabla 10. Categorías de impacto seleccionadas y sus unidades

Categoría de impacto	Unidad del Indicador de categoría
Acidificación	kg SO ₂ eq
Cambio Climático	kg CO ₂ eq
Agotamiento de la Capa de Ozono	kg CFC-11 eq
Eutrofización	kg PO ₄ eq
Oxidación fotoquímica	kg etileno eq.

3.2.7 Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida

Para la realización de la Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida se utilizó el software open LCA 1.10.2, el cual es un software de código abierto para la evaluación del ciclo de vida (LCA) y la evaluación de sostenibilidad, desarrollado por GreenDelta desde 2006.

El software permite agregar o combinar bases de datos, las cuales pueden ser descargadas del sitio web de openLCA. Para el presente estudio se utilizó una base de datos proporcionada por el Instituto de Ingeniería de la UNAM.

3.2.8 Resultados

En este apartado se analizan los impactos resultantes por cada categoría de los tres escenarios propuestos, así como las contribuciones porcentuales globales por escenario y por cada etapa que conforma los distintos sistemas. En los tres escenarios las etapas que más contribuyeron a las emisiones y liberaciones fueron el almacenamiento temporal, la disposición final y el transporte, mientras que la etapa de tratamiento permitió mitigar las emisiones y liberaciones en el escenario 2 y 3.

De manera global se identificó que el escenario 1 representa el mayor impacto en comparación con el escenario 2 y 3 (Figura 28), lo anterior es debido a que después de ocurrir un sismo, los residuos mezclados permanecen en el sitio de derrumbe por un largo periodo en el cual se generan gases de efecto invernadero como producto de la descomposición de la materia orgánica de residuos de comida, madera, papel o cartón y se liberan al aire, además los lixiviados que son generados pueden contener altos niveles de metales pesados por la presencia de residuos peligrosos y de manejo especial como restos de pintura, aceites, lámparas fluorescentes o residuos eléctricos y electrónicos. De manera adicional, este escenario no considera la clasificación y tratamiento de ningún tipo de residuo, por tanto, el 100% de los residuos es dispuestos en sitios de disposición final que no siempre cumplen con los estándares de relleno sanitario y son más bien tiraderos clandestinos o barrancas, como se señaló en el diagnóstico de este estudio.

Por otro lado, en el escenario 3 se identificó una reducción en las emisiones y liberaciones debido a que la cantidad de residuos enviada a rellenos sanitarios disminuye y es enviada a tratamiento, asimismo el tiempo que permanecen los residuos en el sitio de derumbe es menor en comparación con el escenario 1, lo anterior contribuyó a disminuir el impacto, de manera principal en dos categorías: cambio climático (64%) y oxidación fotoquímica (63%), seguida de la acidificación (56%), eutrofización (51%) y disminución de la capa de ozono (45%). Respecto al escenario 2, los beneficios del tratamiento, la disminución de residuos enviados a disposición final y un almacenamiento temporal más corto, son más evidentes en la categoría de oxidación fotoquímica (58%), cambio climático (52%), disminución de la capa de ozono (37%), acidificación (36%) y eutrofización (33%). La disminución del impacto

en ambas categorías también se debe a la etapa de transporte debido a que se recorre una menor distancia a los centros de tratamiento en la Ciudad de México (25 km en promedio) que a los sitios de disposición final ubicados en el Estado de México (64 km en promedio).

Para finalizar se identificó que las etapas de clasificación y recolección fueron las de menor impacto en los tres escenarios, las cuales se atribuyen a los procesos de combustión en la maquinaria empleada.

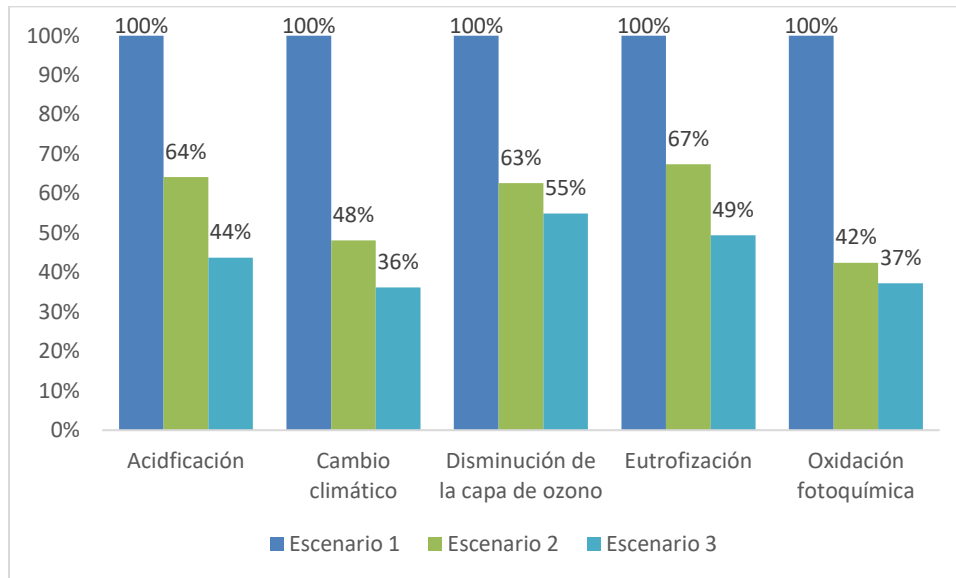


Figura 28. Contribuciones porcentuales por categoría de impacto. Fuente: elaboración propia.

Acidificación

La acidificación es la pérdida de la capacidad natural de neutralización del suelo y agua, como consecuencia de la adición de compuestos ácidos, tales como ácido sulfúrico y nítrico. La emisión de compuestos contaminantes a la atmósfera como son los gases de SO_2 , NO_x y NH_3 provocan un efecto de acidificación del ambiente a través de un proceso conocido como deposición ácida. Estos compuestos son disueltos en agua o superficies húmedas formando ácidos que, al ser depositados en el ambiente a través de la lluvia, neblina o nieve disminuyen el pH original afectando tierra, agua, flora y fauna. El potencial de acidificación (AP) de una sustancia se determina por su capacidad de formación de iones hidronio $[\text{H}^+]$ y refleja la acidificación máxima que una sustancia puede ocasionar en el ambiente. El AP se expresa como el número de iones H^+ producidos por kg de sustancia en relación con los producidos por el SO_2 (INECC, 2013).

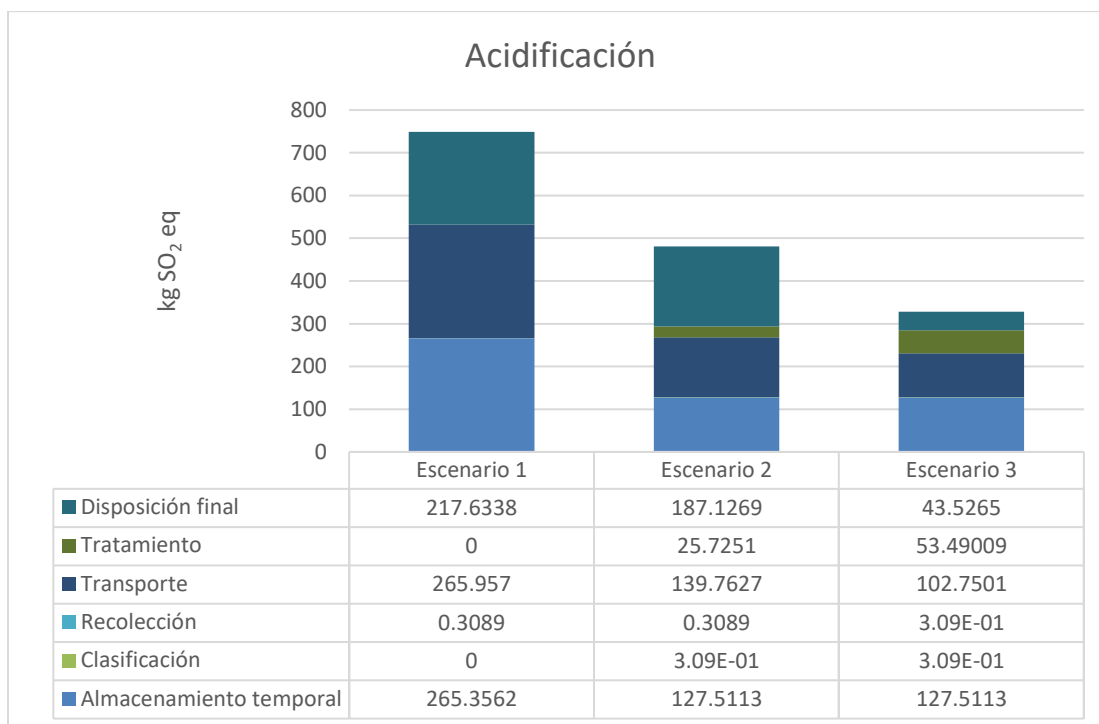


Figura 29. Contribuciones a la categoría de acidificación para el escenario 1,2 y 3. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 29 se observa que los escenarios propuestos mitigan el impacto en la categoría de acidificación. En los tres escenarios las principales contribuciones están relacionadas con el almacenamiento temporal, el transporte y la disposición final, observándose una disminución significativa en los escenarios en los cuales se realiza el tratamiento de los RCD, asimismo existe una reducción en la contribución de la etapa de transporte en los escenarios 2 y 3 debido a que se recorre una menor distancia a la planta de Concretos Reciclados S.A. de C.V. en comparación con la distancia que debe recorrerse para disponer los RCD en rellenos sanitarios del Estado de México y por tanto se generan menos emisiones de óxido de azufre y nitrógeno provenientes de la quema de combustibles fósiles usados para los transportes de los residuos. De manera global, el escenario 1 genera un mayor impacto con 749.25 kg SO_{2eq}, seguida por el escenario 2 con 480.74 kg SO_{2eq}, y el escenario 3 con 327.889 kg SO_{2eq}.

Cambio climático

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) provocan cambios en la composición de la atmósfera terrestre alterando el flujo natural de radiación infrarroja absorbida por la superficie lo cual provoca el incremento en la temperatura del planeta o calentamiento

global. Los gases emitidos como bióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), ozono (O₃) y el vapor de agua producen cambios en la emisión y reemisión energética en la atmósfera, es decir, su potencial de calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés). El GWP está en función de la absorción de radiación infrarroja y concentración del GEI con respecto a la absorción causada por 1 kg de CO₂, y se expresa en unidades de CO₂ equivalentes.

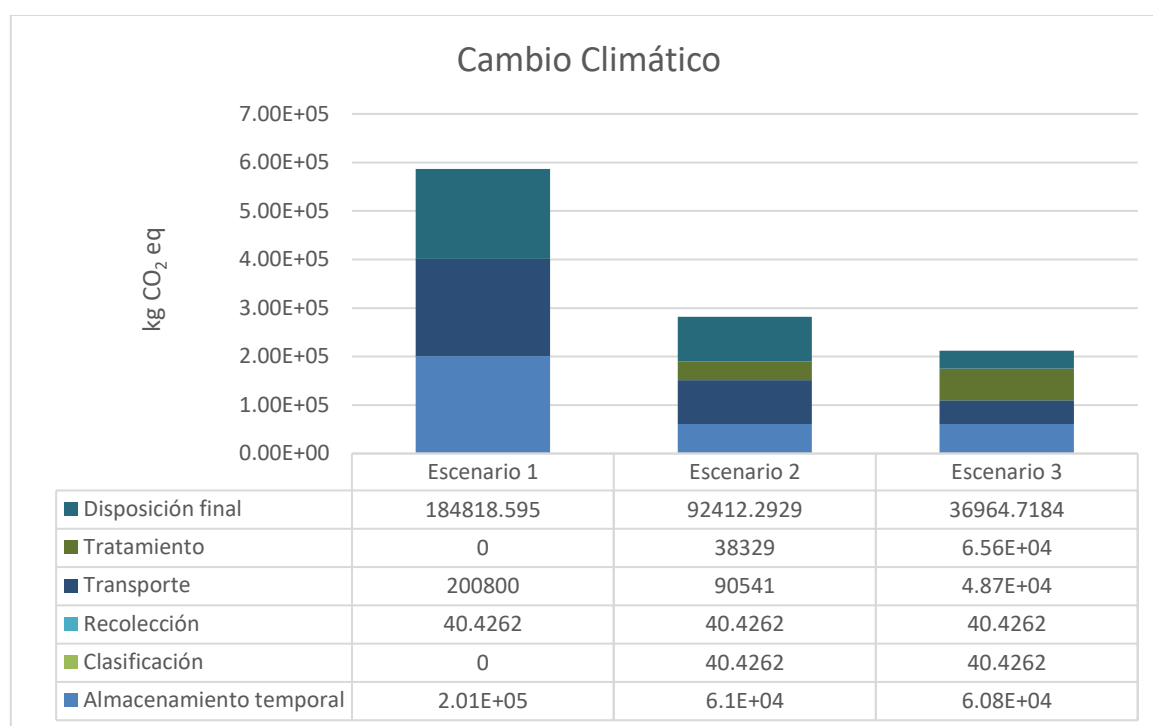


Figura 30. Contribuciones a la categoría de cambio climático para el escenario 1,2 y 3.
Fuente: elaboración propia.

En la categoría de cambio climático (Figura 30), el almacenamiento temporal y disposición final son las etapas que más contribuyen en el escenario 1 y 2, de manera particular por el metano generado por la fracción orgánica de los residuos, mientras que en el escenario 3 disminuyen las emisiones de CO_{2eq} debido a que los residuos podrían generarse por una inadecuada disposición final de RCD después de un sismo son enviados a tratamiento, asimismo las emisiones generadas en el transporte disminuyeron debido a la reducción de distancias recorridas a la planta de tratamiento y no a los sitios de disposición final. De manera global, el escenario 1 genera un mayor impacto con 5.86E+05 kg CO_{2eq}, seguida por el escenario 2 con 2.82E+05 kg CO_{2eq}, y el escenario 3 con 2.12E+05 kg CO_{2eq}.

Disminución de la capa de ozono

La disminución de la capa de ozono provoca un incremento de la cantidad de rayos ultravioleta que llegan a la superficie de la Tierra, lo cual genera el aumento de algunas enfermedades como el cáncer de piel y las cataratas; la afectación de la producción agrícola, la degradación de los materiales plásticos, entre otros. La mayoría de los cloruros y bromuros, procedentes de compuestos cloro-floro-carbonados, CFCs y otras fuentes, reaccionan en presencia de las nubes estratosféricas polares (PSCs) emitiendo cloruros y bromuros activos que bajo la acción de los UV provocan la descomposición del ozono.

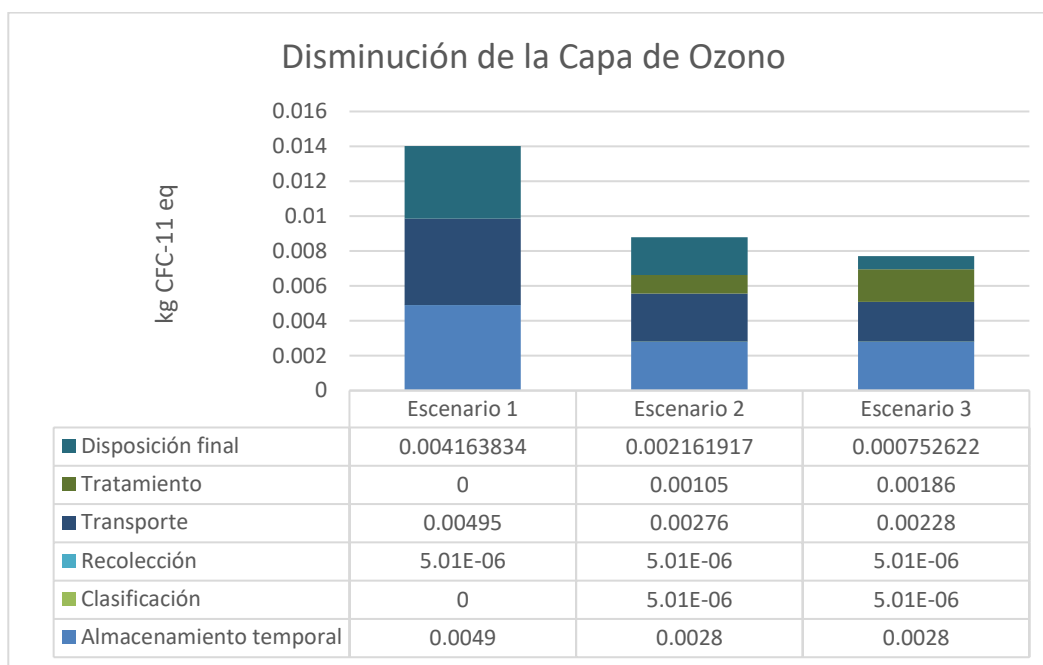


Figura 31. Contribuciones a la categoría de disminución de la capa de ozono del escenario 1,2 y 3

La categoría de disminución de la capa de ozono es la de menor impacto de todas las categorías analizadas en este estudio y las etapas que contribuyeron de manera mayoritaria en los tres escenarios fueron el almacenamiento temporal y el transporte, seguido por la disposición final de los residuos (Figura 31) de un sismo, tales como aerosoles, refrigeradores y congeladores, así la degradación de espumas y aislantes térmicos empleados por la industria de la construcción. De manera global, el escenario 1 genera un mayor impacto con 0.014 kg CFC-11_{eq}, seguido por el escenario 2 con 0.008 kg CFC-11_{eq}, y el escenario 3 con 0.007 kg CFC-11_{eq}.

Eutrofización

El aumento gradual en cuerpos de agua de la concentración de sustancias como fosfatos y nitratos derivados de actividades antropogénicas como la inadecuada disposición de residuos, estimula la productividad biológica de ciertas especies vegetales acuáticas teniendo como efecto la disminución del oxígeno disuelto en agua con efectos adversos en los ecosistemas acuáticos. El cálculo del potencial de eutrofización se basa en el balance estequiométrico de nitrógeno, fósforo, carbono y oxígeno para formación y descomposición de la biomasa acuática promedio y, la demanda química de oxígeno (DQO) referida a la contaminación por materia orgánica

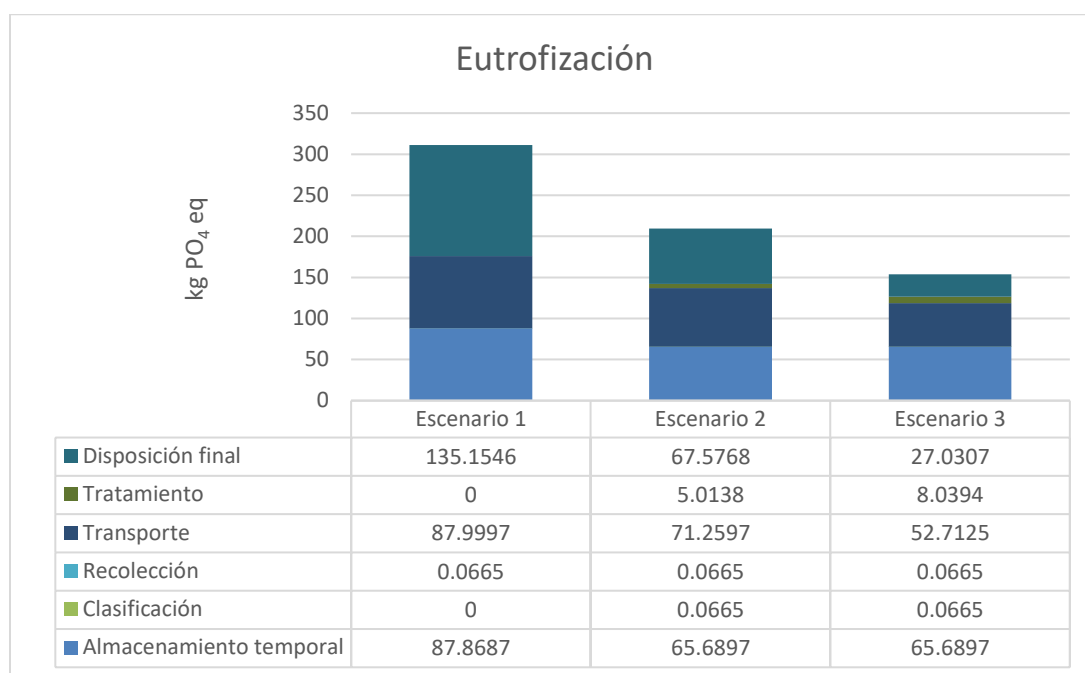


Figura 32. Contribuciones a la categoría de eutrofización del escenario 1, 2 y 3

Respecto a la categoría de eutrofización (Figura 32), es posible visualizar los beneficios de realizar el tratamiento de los residuos pues en el escenario 1 se estimó el mayor impacto, de manera particular en la etapa de disposición final, debido en gran parte a los lixiviados con alto contenido de materia orgánica y metales pesados que son liberados al suelo y cuerpos de agua, se observa una disminución en el escenario 3 que se atribuye a la reducción de la cantidad de residuos que se envían a disposición final.

Durante las etapas de almacenamiento temporal también se generan emisiones, debido a los largos periodos que permanecen los residuos en el sitio de derrumbe, aunque este disminuye conforme el almacenamiento se reduce de 2 años a 6 meses en los escenarios propuestos. Este mismo comportamiento se observa en las emisiones generadas en el

transporte, pues al recorrer menos distancia a los centros de tratamiento y al transportar menos residuos a los SDF, es posible mitigar el impacto en esta categoría. De manera global, el escenario 1 genera un mayor impacto con 311.08 kg PO_{4eq}, seguido por el escenario 2 con 209.67 kg PO_{4eq}, y el escenario 3 con 153.60 kg PO_{4eq}.

Oxidación fotoquímica

Los oxidantes fotoquímicos se producen en la atmósfera a partir de la luz solar que reacciona con hidrocarburos y óxidos de nitrógeno. En concentraciones más altas pueden causar o agravar la salud, toxicidad vegetal y deterioro de ciertos materiales. El potencial de oxidación fotoquímica tiene como unidad de medida los kg de etileno equivalente.

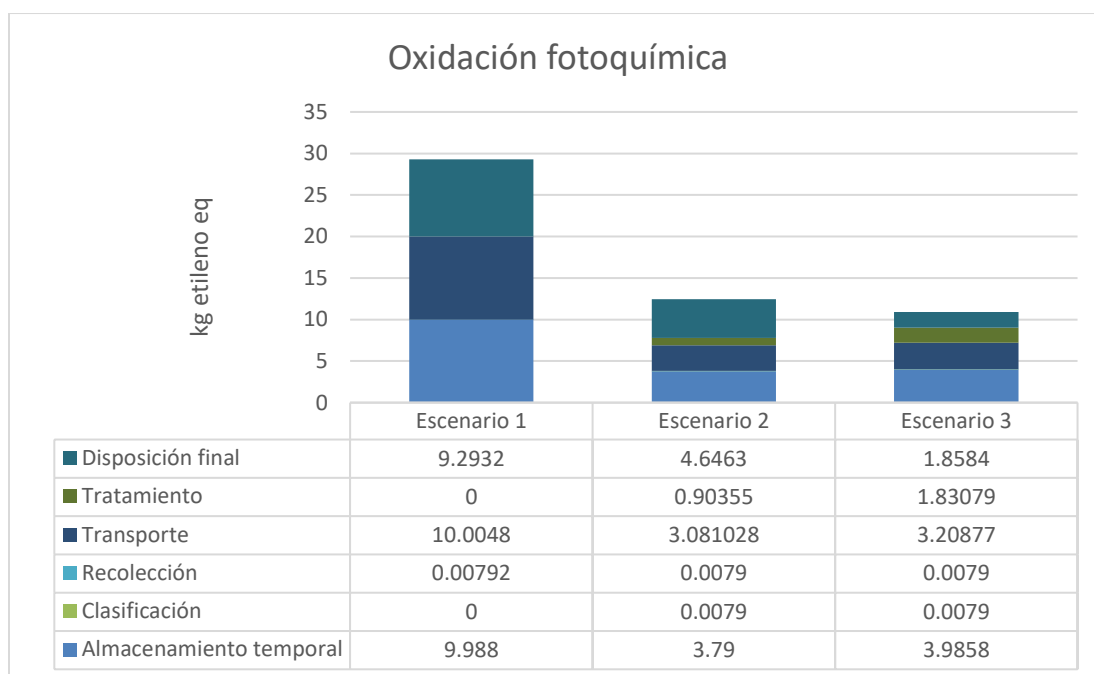


Figura 33. Contribuciones a la categoría de oxidación fotoquímica del escenario 1, 2 y 3

Para finalizar, la tendencia en las categorías anteriores se observa también en la oxidación fotoquímica (Figura 33), en la cual el escenario 1 representa el mayor impacto, con contribuciones muy similares de la etapa de almacenamiento temporal, transporte y disposición final y se estima que es posible reducir hasta los kg de etileno eq liberados en el escenario 2 y 3, esta disminución es más evidente en la etapa de almacenamiento debido a que el tiempo que permanecen los residuos en el sitio de derrumbe es menor. Asimismo, las emisiones de transporte disminuyen en los escenarios 2 y 3 debido a la menor distancia recorrida a los centros de tratamiento en comparación con los SDF. De manera global, el

escenario 1 genera un mayor impacto con 29.29 kg etileno_{eq}, seguido por el escenario 2 con 12.43 kg etileno_{eq}, y el escenario 3 con 10.89 kg etileno_{eq}.

3.2.9 Interpretación de la Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida

Los procesos de almacenamiento temporal, transporte y disposición final son los que implican un mayor impacto en los tres escenarios, debido a la liberación de lixiviados en agua y suelo durante los largos periodos que permanecen los residuos en el sitio de derrumbe y en los sitios de disposición final, aunado a ello, la mezcla de residuos puede contener residuos peligrosos que después pueden liberar sustancias químicas y contaminar las zonas circundantes. Coespecto a la etapa de transporte, se identificó que las largas distancias recorridas a los sitios de disposición final representan un mayor impacto comparado con las distancias que se recorren a los sitios de tratamiento ubicados en la Ciudad de México, cabe destacar que este es uno de los motivos por los cuales es muy importante impulsar el desarrollo de infraestructura para el tratamiento y reciclaje de los residuos en el país, y así evitar que los residuos sean enviados a sitios de disposición final. Durante esta etapa, el impacto es debido a las emisiones liberadas por los camiones de transporte, por lo que además de destacar el volumen transportado y las distancias recorridas, es importante considerar el estado y antigüedad de los camiones, a fin de prevenir emisiones excesivas como producto de la combustión.

Durante el tratamiento de los residuos también se generan emisiones y liberaciones por el diesel que utiliza para el funcionamiento de la maquinaria, sin embargo, estas son más pequeñas comparadas con las generadas por la disposición final y el almacenamiento temporal.

En otro estudio de análisis de ciclo de vida para el manejo de residuos en caso de sismos, también se identificó que las etapas de disposición final y transporte significaron el mayor impacto, en promedio $3E+06$ debido al transporte y $2E+06$ en promedio debido a la disposición final, asimismo también se observaron reducciones a los impactos por el tratamiento (Amato A. et al, 2019). Asimismo, en otros estudios de análisis de ciclo de vida de RCD en condiciones ordinarias se identificó la etapa de transporte y disposición final como la más importante, cabe destacar que algunos de los estudios en donde se identificó al transporte como la mayor contribución al impacto, el tratamiento de los residuos es priorizado y la disposición final se realiza en condiciones adecuadas (Butera S. et al. 2015 y Rosado et al., 2019).

3.2.10 Conclusiones y futuras líneas de investigación

El Análisis de Ciclo de Vida tiene un gran potencial para fundamentar la toma de decisiones en sistemas complejos como es el caso de la gestión de residuos, en la actualidad se ha publicado una gran cantidad de estudios de ACV sobre la gestión de residuos en condiciones ordinarias, sin embargo, falta profundizar en estudios sobre la gestión de residuos en condiciones de desastres y evaluar las prácticas que se han realizado en eventos anteriores.

Como resultado de este estudio se identificaron las futuras líneas de investigación en la materia, que se enlistan a continuación:

- Caracterización de los residuos generados después de un sismo u otro desastre natural en México, ya que en este estudio fue necesario emplear datos internacionales debido a la carencia de información nacional.
- Estudios de ACV que incluyan inventarios sobre otros tipos de residuos generados después de un sismo, debido a que el alcance de este trabajo se enfocó a los RCD, por ser el componente en mayor cantidad de los residuos generados después de un sismo y para las otras fracciones se utilizaron datos de la base de datos proporcionada por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, sin embargo, un análisis de más profundo que incluya datos de inventario de otras fracciones permitirá determinar con mayor precisión el impacto de los residuos en su totalidad.
- Estudios de ACV que incluyan un análisis de las cargas evitadas por la sustitución de materias primas vírgenes, por materiales reciclados. Lo anterior se sugiere debido a que una correcta gestión de los residuos generados después de un sismo permite valorizar RCD, madera, metales u otros residuos que pueden aprovecharse en diversos procesos industriales y así evitar que se empleen materiales vírgenes o se utilicen combustibles fósiles para su procesamiento, obteniendo como resultado diversas cargas evitadas y disminuyendo el impacto global.
- Estudios de ACV que incluyan un análisis sobre los impactos de realizar el tratamiento de los residuos generados después de un sismo, in situ o en plantas de tratamiento especializadas.
- Análisis de sensibilidad que permita determinar las opciones óptimas en términos de impacto ambiental de manera particular para la etapa de transporte, evaluando las diferentes distancias recorridas a centros de acopio, tratamiento y disposición final, así como los combustibles empleados.

Para concluir, se presenta este estudio como insumo a una estrategia de residuos que favorezca un almacenamiento temporal máximo de 6 meses, la clasificación y tratamiento de los residuos y la correcta disposición de los residuos en sitios autorizados.

CAPITULO 4. GUÍA PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS EN CASO DE SISMOS PARA LA CIUDAD DE MÉXICO

Esta guía tiene como objetivo establecer el marco de acción para la gestión integral de los RCD generados en caso de sismos en la Ciudad de México, alineado con las estrategias del Gobierno Federal y el “Plan de Emergencia Sísmica” de la Ciudad de México, publicado en el marco del sismo ocurrido en septiembre de 2017.

4.1 Actores involucrados en la gestión de residuos de la construcción y la demolición

1) Corresponde a la Jefatura de Gobierno:

- *Aprobar y expedir el Programa General de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil (PGGIRPC), en el cual entre otras actividades debe precisar, en sus aspectos de organización y temporalidad las actividades de prevención en servicios vitales⁸, sistemas estratégicos⁹, espacios sociales, deportivos y empresariales en al menos: abasto, agua potable, alcantarillado, comunicaciones, desarrollo urbano, energéticos, electricidad, salud, seguridad ciudadana, transporte, espacios públicos y; escuelas y hospitales (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2019).*

Aunque en la actualidad el *PGGIRPC* no contempla el manejo de los residuos generados en caso de desastres naturales, estos podrían ser incluidos en dicho documento, de acuerdo con el Capítulo II, artículo 50, punto III de la Ley General de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil de la Ciudad de México (LGIRPC) y corresponde a la Jefatura de Gobierno la aprobación de su inclusión.

- *Instruir las acciones y establecer convenios o acuerdos de coordinación y colaboración con el Sistema Nacional de Protección Civil o con otras entidades federativas que amplíen el alcance del Sistema de Gestión Integral de Riesgos y*

⁸ Servicios vitales: Elemento o conjunto de elementos indispensables para el desarrollo de las condiciones ordinarias de vida de la sociedad en la Ciudad de México. Fuente: LGIRPC, 2019.

⁹ Sistemas estratégicos: Estructura gubernamental de trascendencia prioritaria que tiene como objetivo mantener la paz pública a través del resultado u operación de servicios, información y elementos indispensables para convivir en un Estado de derecho. Fuente: LGIRPC, 2019.

Protección Civil de la Ciudad de México (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2019).

De acuerdo con esta misma ley, la coordinación en todas las fases de la Gestión Integral de Riesgos, en materia de fenómenos ecológicos y medio ambientales corresponderá a la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA); por lo tanto, la Jefatura de gobierno deberá establecer un acuerdo de coordinación con esta dependencia y con otras, tales como la SOBSE y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, para el establecimiento de acciones específicas para el manejo de los RCD generados en un sismo.

2) Corresponde a la Secretaría de Gobierno:

- *Elaborar el PGGIRPC y ponerlo a consideración de la Jefatura de Gobierno (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2019).*

La inclusión del manejo de los RCD en el PGGIRPC deberá ser realizada por la Secretaría de Gobierno, de acuerdo con lo establecido en la LGIRPC, la cual después es aprobada por la Jefatura de Gobierno.

- *Participar en la evaluación y cuantificación de daños y pérdidas en caso de Emergencia o Desastre (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2019).*

Las Unidades de Protección Civil de cada alcaldía son las primeras en reportar los daños en la Ciudad de México ocasionados por un sismo, el reporte es canalizado a la Secretaría de Gobierno, después a la Jefatura de Gobierno y por último al presidente del país y otras dependencias federales, de manera que se comienzan a obtener cifras sobre el número de heridos y edificios colapsados a las pocas horas de haber ocurrido el sismo, y es con el transcurso de los días que las cifras son más detalladas y precisas e incluyen otros datos como la ubicación y cantidad de centros de acopio, apoyos internacionales recibidos y patrimonio nacional afectado; es en este punto, cuando la emergencia ha pasado y comienza la estrategia para el apoyo de los damnificados y reconstrucción de la ciudad, en el cual se debe incluir una cuantificación de los RCD generados por el sismo, para ello pueden aprovecharse los levantamientos de información realizados por expertos en identificación de fallas estructurales, o bien, es posible realizar una estimación general empleando vehículos aéreos no tripulados (VANT) para sobrevolar la ciudad. Las cuales después pueden ser comparadas con los registros de residuos recolectados por la SOBSE.

3) Corresponde a las Alcaldías de la Ciudad de México:

- *Formular y ejecutar, de conformidad con el Programa Nacional de Protección Civil y el PGGIRPC, el Programa de la Alcaldía (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2019).*

La LGIRPC establece en su artículo 54 el contenido mínimo que deberá incluir los programas de la alcaldía, entre las cuales no se especifica el manejo de los RCD, sin embargo, sí se hace referencia a los mecanismos de control y evaluación del desastre, por lo cual podría considerarse incluir el manejo de los RCD en cumplimiento de este artículo.

- *Identificar y elaborar las opiniones y/o dictámenes técnicos respecto a las condiciones de riesgo de sitios, inmuebles o actividades, en los Términos Acreditados Autorizados, que para tales efectos remita la Secretaría (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2019).*

De acuerdo con la experiencia observada en sismos anteriores, si bien la LGIRPC establece que una de las atribuciones de las alcaldías es la cuantificación de los daños, esta labor suele hacerse de manera conjunta con otras dependencias, de forma principal con la SOBSE, pues al menos para el sismo ocurrido el 19 de septiembre de 2017, se expidió la “Ley para la Reconstrucción, Recuperación y Transformación de la Ciudad de México en una cada vez más Resiliente” y se actualizó el Manual Administrativo de la SOBSE en donde se asigna a esta dependencia para la evaluación de los daños después de un sismo.

- *Atender las emergencias y desastres ocurrido en la Alcaldía y aquellos en los que se solicite su intervención (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2019).*

Las alcaldías deberán dar seguimiento a las actividades de la recolección de los RCD realizadas por la SOBSE, de su organización y de otorgar todas las facilidades en beneficio de la población y el medio ambiente.

4) Corresponde a la Secretaría de Obras y Servicios:

- *Determinar la habitabilidad y funcionalidad de los servicios vitales, inmuebles, instalaciones estratégicas e infraestructura urbana, así como estimar pérdidas de vidas humanas, heridos, atrapados, fallecidos y damnificados. Para ello se*

llevará a cabo una evaluación rápida que incluya el reconocimiento técnico de la magnitud de daños para definir si la condición de los inmuebles es: habitable, no habitable o seguridad en duda, y si la condición de los inmuebles es no habitable o la seguridad está en duda se procederá a una revisión detallada para determinar las medidas necesarias (SOBSE, 2018a).

Esta Secretaría es la responsable de hacer una evaluación detallada de la infraestructura dañada por un sismo u otro desastre natural, y como se ha mencionado antes estos levantamientos de información pueden aprovecharse para cuantificar la cantidad de RCD generados.

- *Elaborar el plan de acción para la atención de residuos en situaciones de emergencia o desastre para la CDMX (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2016).*

De acuerdo con el Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos de la Ciudad de México, se deberá elaborar un plan de acción para manejar los residuos en caso de desastres, para ello establece la coordinación de tres dependencias: SOBSE, SEDEMA y Secretaría de Protección Civil (SPC) y establece un plazo de dos años (2017 y 2018). Cabe destacar que, hasta mayo de 2020, el plan no se había realizado.

- *Incorporar brigadas de trabajo y maquinaria en la remoción y retiro de escombros (SOBSE, 2018a).*

De acuerdo con SOBSE, 2018a las dependencias que son las principales responsables de la rehabilitación y restablecimiento son la SOBSE y la SEDEMA y la incorporación de maquinaria pesada a la zona afectada para la remoción de escombros es una actividad que comparten, por ello es muy importante la coordinación entre ambas secretarías. Así como el registro de la cantidad de RCD recolectados después de la demolición completa.

5) Corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México:

- *Participar en la etapa de evaluación de daños, rescate y salvamento, refugios temporales, rehabilitación y restablecimiento (SOBSE, 2018a).*

El Plan Permanente ante Contingencias de la Ciudad de México asigna diferentes responsabilidades a la SEDEMA en caso de un desastre natural, durante la etapa de evaluación de daños es responsable de revisar y evaluar los

sistemas de agua potable y drenaje, evaluar instalaciones de hidrocarburos, redes de gas natural y realizar monitoreos atmosféricos y calidad del agua, además interviene en la zonas afectadas pues es la encargada de contratar servicios de maquinaria pesada y mano de obra para el retiro de escombros y ayudar a controlar las situaciones que representen riesgos y control de seguridad de la zona. Para finalizar es responsabilidad de la SEDEMA, establecer los sitios destinados al manejo y disposición final de residuos tóxicos, radioactivos, infectocontagiosos y escombros.

El Plan de Emergencia Sísmica de la Ciudad de México incluye en su estrategia al Comité de Emergencias (Figura 34) el cual integra a las dependencias antes descritas:



Figura 34. Comité de Emergencias de la Ciudad de México del "Plan de Emergencia Sísmica".

Fuente: elaboración propia a partir de <https://www.jefaturadegobierno.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/presenta-gobierno-capitalino-plan-de-emergencia-sismica-para-la-ciudad-de-mexico>

4.2 Organización geográfica

La Ciudad de México es una de las 32 entidades federativas de México, así como la capital del país, tiene una superficie de 1,495 km² y se divide en 16 alcaldías: Álvaro Obregón,

Azcapotzalco, Benito Juárez, Coyoacán, Cuajimalpa de Morelos, Cuauhtémoc, Gustavo A. Madero, Iztacalco, Iztapalapa, Magdalena Contreras, Miguel Hidalgo, Milpa Alta, Tláhuac, Tlalpan Venustiano Carranza y Xochimilco. De acuerdo con el Plan de Emergencia Sísmica de la Ciudad de México, si un sismo llegará a ocurrir las actividades de rescate serán realizadas por la SEDENA, SEMAR, el Heroico Cuerpo de Bomberos, el Escuadrón de Rescate y Urgencias Médicas y las comunicaciones serán atendidas por el C2 y el C5. La atención en la Ciudad será dividida en 5 regiones; centro, norte, sur, oriente y poniente (Figura 35) y una vez finalizada, la SOBSE será la encargada de la cuantificación de los daños, asimismo se propone que sea esta misma dependencia la encargada de cuantificar los RCD generados. Para lograrlo se proponen una serie de medidas previas (Diagrama 1) y posteriores a un sismo (Diagrama 2) que deberá realizar la SOBSE en colaboración con los actores identificados en el punto anterior.

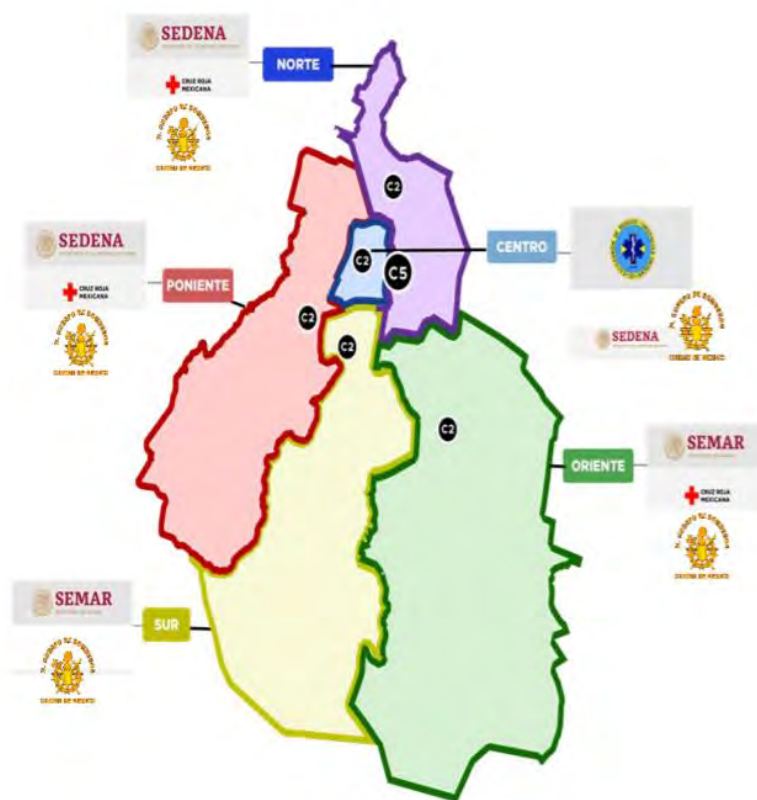


Figura 35. División regional de la Ciudad de México para la atención de emergencias.

Fuente: <https://www.jefaturadegobierno.cdmx.gob.mx/storage/app/media/presentacion-plan-sismos-10-09-19.pdf>

Medidas propuestas para la gestión de RCD en la etapa previa a un sismo

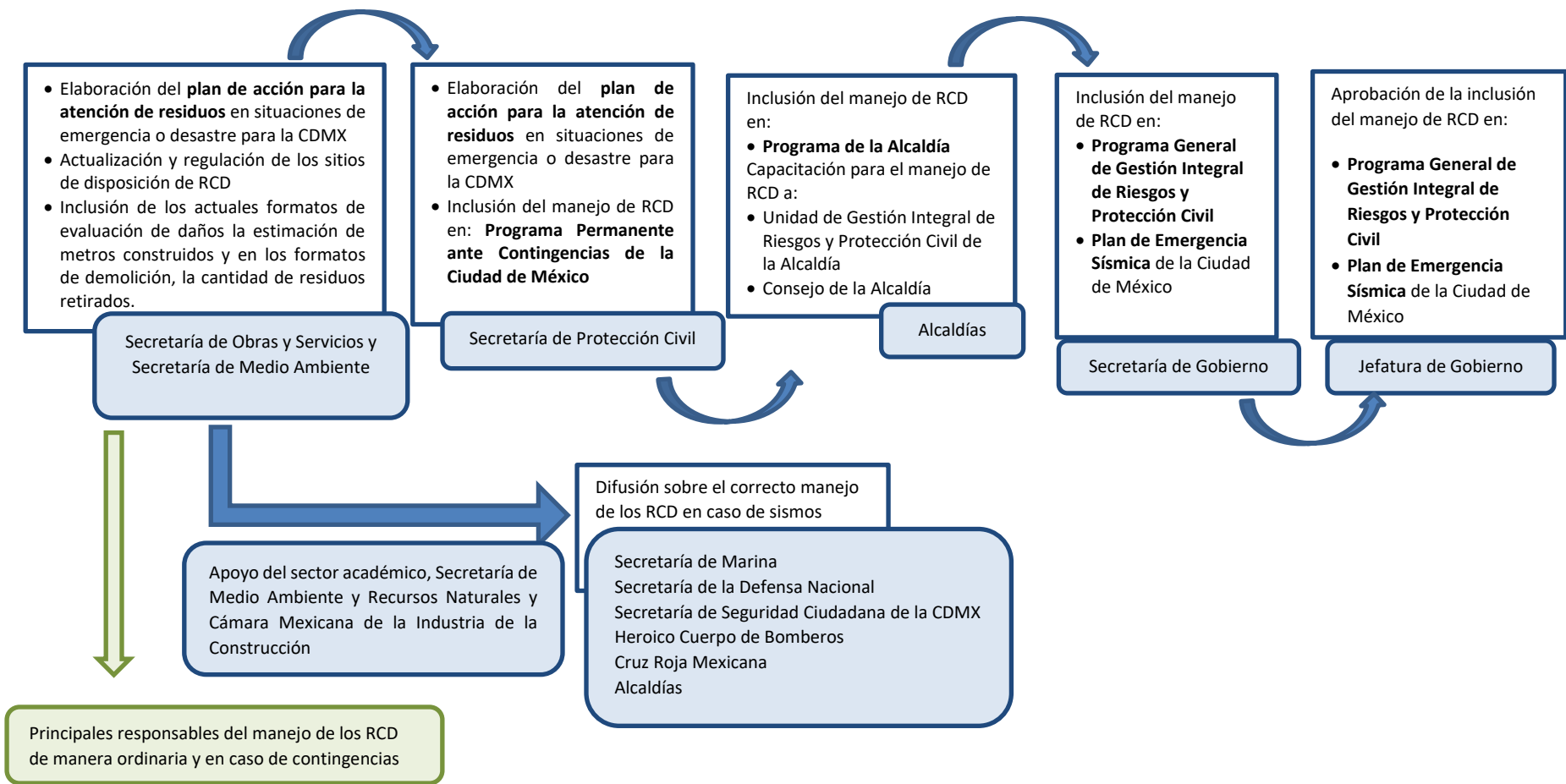


Diagrama 1. Medidas propuestas para la gestión de RCD en la etapa previa a un sismo

Medidas propuestas para la gestión de RCD en la etapa posterior a un sismo

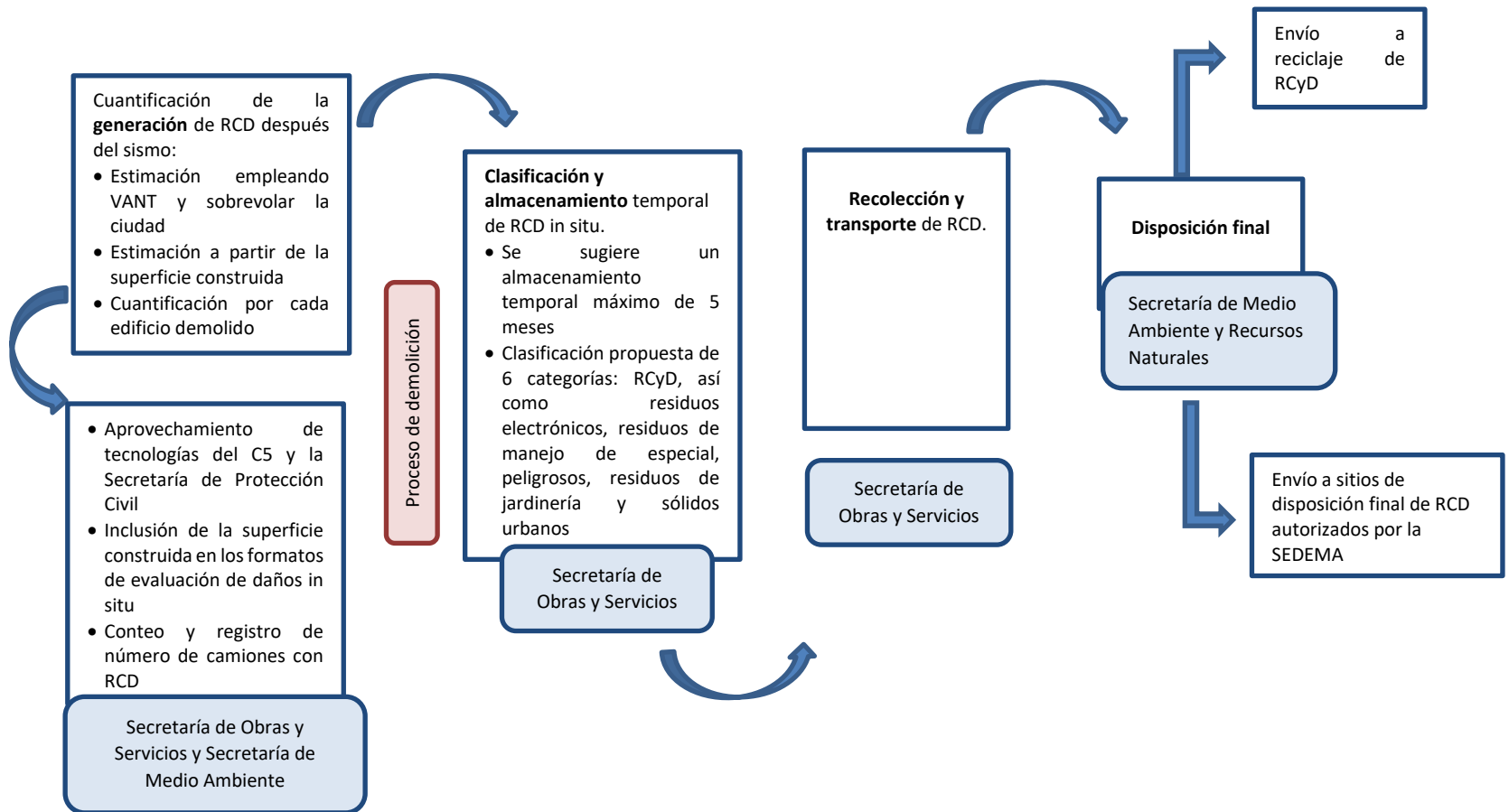


Diagrama 2. Medidas propuestas para la gestión de RCD en la etapa posterior a un sismo

4.3 Tipos de residuos generados en un sismo

La composición de los residuos que se generan después de un sismo difiere según la ubicación geográfica, la escala del sismo y las características de las edificaciones; la proporción de residuos inorgánicos es alta. Por lo tanto, la búsqueda de sistemas de reciclaje de residuos de alta eficiencia energética requiere especial énfasis. El gran terremoto del Este de Japón es un ejemplo típico de esta situación (Figura 36), en el cual el principal componente de los residuos fue el concreto y otros inorgánicos como metales y vidrio (Ministry of the Environment Government of Japan, 2018).

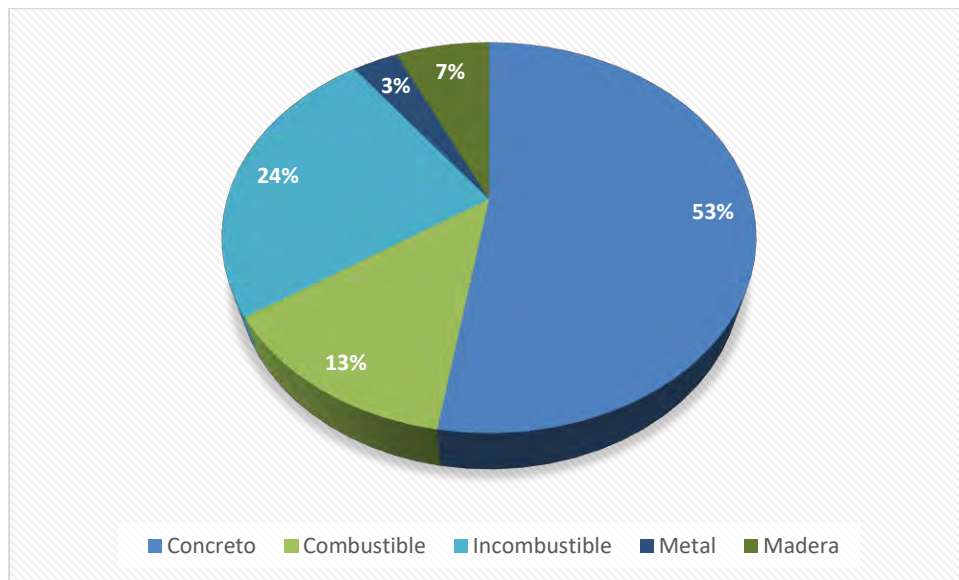


Figura 36. Composición de los residuos generados en el sismo del gran este de Japón.

Fuente: Ministry of the Environment Government of Japan, 2018.

Debido a la falta de información sobre la composición de los RCD después de un sismo, puede tomarse como referencia la composición de estos residuos en condiciones ordinarias, es decir en obras de construcción y demolición en México. De acuerdo con el Plan de Manejo de Residuos de la Construcción y la Demolición de la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción, los residuos del material de excavación, de concreto y de prefabricados, en conjunto representan cerca del 87% de total (Tabla 11). Cabe destacar que de acuerdo con lo observado en este plan y en otras caracterizaciones existentes, cuando se trata de obras de construcción los principales residuos son materiales de excavación y concretos, mientras que en obras de demolición el principal componente son

los residuos de concreto, esto se debe a que no hay una excavación en las obras de demolición.

Tabla 11. Composición de Residuos de la Construcción y la Demolición

Grupo	Subproducto	Porcentaje de incidencia
Material de excavación	Material de relleno	39
Concreto	Concreto: bases hidráulicas, concretos hidráulicos, adocretos, adopastos, bordillos, postes de cemento, arena, morteros.	24
	Asfalto: carpetas asfálticas	0.3
Elementos mezclados prefabricados y pétreos	Piedra, block-tabique, tabicones, mortero, adoquines, tubos de albañal, mamposterías, tabiques y ladrillos	24
Otros	Yeso, muro falso, madera, cerámica, plástico, metales, lámina, vidrios, papel y cartón. Hojas, ramas, troncos y raíces	12
Total		100

Fuente: CMIC, 2014.

Tratándose de sismos, la caracterización más acertada es la de obras de demolición ya que la fase de construcción es posterior a que ocurrió la contingencia, es decir cuando ocurre un sismo y los edificios se derrumban, una vez que esto sucede, se continúa con una demolición para retirar las estructuras que siguen en pie y retirar todos los residuos.

De forma adicional se debe considerar que existe una mayor presencia de otros residuos que no son propios de la construcción como metales, plásticos, electrodomésticos, residuos sólidos urbanos, textiles y residuos peligrosos. Todo lo anterior como resultado de los objetos y actividades que se realizan en viviendas, oficinas, escuelas y otros. Habrá incluso casos especiales como hospitales y laboratorios químicos, en donde se deberán manejar con mayor precaución los residuos debido a las sustancias químicas y residuos biológico-infecciosos que contendrían.

4.3.1. Residuos peligrosos

Algunos de los residuos peligrosos que pueden encontrarse mezclados con los RCD en caso de un sismo son: metales pesados, hidrocarburos como aceites y combustibles, pinturas solventes, pesticidas y fertilizantes, productos de limpieza, residuos médicos y residuos industriales. El manejo de estos residuos peligrosos en caso de sismos, así como en otras contingencias es un reto, debido a que representan un peligro para la salud y el medio ambiente.

De manera ordinaria los residuos peligrosos deben ser manejados por los generadores conforme a lo establecido en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y estos son considerados como peligrosos por sus características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o que tengan agentes infecciosos.

4.3.1.1 Bifenilos policlorados

Los bifenilos policlorados, conocidos como BPC o PCB por sus siglas en inglés (Polychlorinated Biphenyls), son hidrocarburos aromáticos clorados que por su elevada permitividad, estabilidad química y resistencia intrínseca al fuego son utilizados en transformadores y en capacitores, incluyendo balastos para lámparas fluorescentes (INE, 2003).

Los bifenilos policlorados pertenecen a un grupo de sustancias consideradas de atención prioritaria y que por su situación nacional e internacional requieren de un cuidado especial para disminuir sus impactos negativos en el ambiente y en la salud humana. La Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC) de la OMS y la Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) considera a los BPC como posibles carcinógenos, convirtiéndolos en compuestos de gran peligrosidad, no solo para la salud humana sino también para el ambiente, ya que presentan una gran resistencia a la

biodegradación y gran capacidad para dispersarse en el ambiente. Se ha descubierto que además de ser persistentes, estos compuestos tienen gran movilidad en el ambiente y se acumulan en los ecosistemas, por lo que han sido catalogados como materiales tóxicos ambientales (INE, 2003).

De acuerdo con la NOM-133-SEMARNAT-2000, el poseedor de cualquier equipo eléctrico debe verificar si dicho equipo emplea líquidos que contienen BPC y realizar las pruebas de laboratorio pertinentes para determinar la concentración de estos. Por lo tanto, en caso de un sismo, la información proporcionada por el administrador del lugar es muy valiosa, de otra manera, sino se cuenta con información de una fuente directa es posible realizar una identificación física, ya que los transformadores deben traer una placa de identificación en la que aparece la siguiente información:

- Compañía fabricante
- Fecha de fabricación
- País de origen
- Capacidad (Kva)
- Tipo de aceite o fluido aislante
- Peso, volumen



Figura 37. Placa de identificación de transformadores
Fuente: SEMARNAT-PNUD, 2009.

Si la placa indica lo siguiente:

- El nombre del fluido aislante se encuentra dentro de la tabla “Otros nombres comerciales (BPCs)” de ser así es un transformador con BPCs.
- Si la especificación de este líquido empieza con la letra “L” (como LFAF, LFAN, LFWN, LNP, LNS, LNW y LNWN) dicho transformador contiene BPCs.

Si el transformador no tiene placa de identificación se recomienda recurrir a la factura de compra e identificarlo o realizar un análisis cromatográfico de BPCs para determinar si contienen o no BPCs.

En caso de derrame en el área afectada, se pueden utilizar varios materiales absorbentes de BPCs de acuerdo con la *Tabla 12*.

Tabla 12. Materiales absorbentes para BPCs

Material	Empresa fabricante
Aserrín	-
Vermiculita	-
Imbiber Bedds	Dow Chemical
Hay Dry	Tennier Chemicals
Diasorb	Diamond Shamrock
Stay-Dry	Waverly Mineral Products
Oil-Dry	Waverly Mineral Products
Carbón activado	-
Tierra con gran cantidad de humus	-

Fuente: SEMARNAT-PNUD,2009.

Para tomar la decisión adecuada de acuerdo con los procesos de manejo ambiental adecuado, se debe considerar la normatividad vigente según la concentración reportada (*Tabla 13*).

Tabla 13. Manejo adecuado de residuos con BPC de acuerdo con su concentración

Concentración de BPC (ppm o mg/kg)	Manejo adecuado	Fundamento legal
Mayor a 50 (residuo peligroso BPCs)	Empresa autorizada para alguno de los siguientes procesos: extracción líquido-líquido, retrolavado, químicos catalíticos, incineración, gasificación, plasma o pirolisis	Artículo 105 del Reglamento de la LGPGIR

1 A 49 (residuo peligroso no BPCs)	Empresa autorizada para alguno de los siguientes procesos: reciclaje o co-procesamiento energético, incineración, gasificación, plasma, pirolisis o confinamiento controlado.	Artículo 42 y 67 fracción III de la LGPGIR
------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------

Fuente: SEMARNAT-PNUD,2009.

Para concluir, se sugiere que la Comisión Federal de Electricidad en conjunto con la Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México sean las autoridades competentes para al manejo ambiental adecuado de estos residuos.

4.3.1.2 Pentaclorofenol

El pentaclorofenol (PCP por sus siglas en inglés) es un producto químico constituido por una radical y cinco cloros, que consiste en una mezcla de fenoles clorados, utilizado en la preservación de la madera. Esta sustancia, al igual que la creosota es utilizada para la preservación e incremento de vida útil de postes (Figura 38) y crucetas en países como Canadá y Estados Unidos, y aunque en México su uso es menos común debido a que los postes de madera han sido reemplazados por postes de concreto, es posible encontrarlos en algunas regiones del país.



Figura 38. Postes impregnados con pentaclorofenol.

Fuente: <https://www.ecoticias.com/sostenibilidad/115737/Sinergia-entre-toxicos-quimicos-mezcla-puede-mortal>

El PCP es liberado al aire por evaporación desde la superficie de maderas tratadas y de la disposición de residuos desde plantas de manufactura química y de preservación de madera. Las propiedades físicas y químicas de este compuesto sugieren que poco se evaporará a la atmósfera y que la mayor parte se movilizará con el agua y se adherirá a partículas en el suelo. El movimiento del PCP en el suelo depende de la acidez del suelo. Además de los peligros que representa al medio ambiente, también puede haber exposición en humanos, a través de contacto de la piel con maderas tratadas con preservativos que contienen esta sustancia. Los niveles en el trabajo, cerca de algunos sitios de desechos peligrosos y cerca de derrames accidentales son casi siempre más altos que en el ambiente en general.

De acuerdo con INECC, 2018 la combustión de postes impregnados de PCP genera gases como dioxinas y furanos, es por eso por lo que no se recomienda el uso de estos procesos a menos que se cuente con equipos adecuados para el control de emisiones. En algunos países se permite el proceso de incineración cuando las concentraciones son menores a 50 mg/kg de PCP. En México, la NOM -052-SEMARNAT-2005 menciona al PCP y su límite máximo permisible en 100 mg/l.

En caso de almacenamiento, el Reglamento de la LGPGIR indica que las condiciones básicas son:

- Estar separadas de las áreas de producción, servicios, oficinas y de almacenamiento de materias primas o productos terminados
- Estar ubicadas en zonas de menor riesgo
- Contar con dispositivos para contener posibles derrames
- Contar con pendientes en los pisos y, en su caso con trincheras o canaletas que conduzcan los derrames a las fosas de retención con capacidad para contener una quinta parte como mínimo de los residuos almacenados o del volumen del recipiente de mayor tamaño
- Contar con pasillos que permitan el tránsito de equipos mecánicos, eléctricos o manuales, así como el movimiento de grupos de seguridad y bomberos en caso de emergencia
- Control de señalamientos y letreros alusivos a la peligrosidad de los residuos peligrosos almacenados, en lugares y formas visibles

- El almacenamiento debe realizarse en recipientes identificados considerando las características de peligrosidad de los residuos, así como su incompatibilidad, previniendo emergencias
- La altura máxima de las estibas será de tres tambores en forma vertical

Para finalizar, en caso de sismos es posible que varios postes se derrumben, por tanto, se sugiere que la Comisión Federal de Electricidad en conjunto con la Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México sean las autoridades competentes para el manejo ambiental adecuado de postes y crucetas, tomando en cuenta las mejores prácticas disponibles a nivel internacional como las antes expuestas, así como la regulación nacional vigente.

4.3.1.3 Residuos eléctricos y electrónicos (REE)

Los residuos eléctricos y electrónicos pueden ser generados por cualquier tipo de desastre natural e incluye televisores, escritorio y computadoras portátiles, accesorios de computadora, equipo estéreo, tabletas, teléfonos celulares y otros dispositivos electrónicos.

La tecnología contiene un promedio de cuatro libras de plomo, así como otros metales como mercurio, iones de litio, cromo, cadmio, berilio, níquel, zinc, y retardantes de llama bromados que deben manejarse de manera adecuada (INCyTU, 2018).



Figura 39. Residuos eléctricos y electrónicos generados en caso de sismos
Fuente: <http://data.sedema.cdmx.gov.mx/reciclatron/#.XkmVu2hKhPY>

De manera ordinaria la LGPGIR considera a los residuos eléctricos y electrónicos como residuos de manejo especial, que son definidos como “aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos. De igual manera, esta ley y la NOM-161-SEMARNAT-2011, establece que este tipo de residuos debe de estar sujeto a un plan de manejo con la finalidad de asegurar la minimización de su generación y maximizar la valorización de los residuos de manejo especial y peligrosos específicos bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social.

Además de los posibles componentes peligrosos, los REE se componen de materiales que pueden ser sujetos de aprovechamiento, tales como metales ferrosos y no ferrosos, así como metales preciosos como oro, plata, platino, galio, paladio, tantalio, telurio, germanio y selenio. De manera adicional, los REE contienen cantidades significativas de plásticos. Por ejemplo, los porcentajes del peso total de televisores, computadoras y teléfonos celulares es de 22.90% a 57%. También el porcentaje de vidrio en televisores, computadoras y teléfonos celulares es de 2%, 25% y 62%, de manera respectiva (INCyTU, 2018).

En caso de sismo se propone que los REE sean recolectados de manera selectiva y sean enviados a tratamiento, lo cual se podría alinear con programas como el Reciclatrón en la Ciudad de México, o campañas realizadas por el sector académico.

4.4 Manejo de RCD en caso de sismos

4.4.1 Generación

Para estimar la generación de RCD por un sismo, pueden utilizarse los métodos tradicionales como los siguientes:

- Estimación a partir de los metros cuadrados construidos. En este método, un equipo de al menos dos ingenieros estructurales de la SOBSE realiza una evaluación detallada de cada edificación colapsada después de un sismo, rellena un formulario similar al de la *Figura 40* para describir los datos generales del lugar, la calificación de los daños y los metros cuadrados construidos. Se propone que ese formulario incluya una estimación de los residuos generados utilizando el factor internacional de la OPS igual a 1.5 toneladas de RCD por m² construido (OPS, 2003).

- Estimación a partir del volumen de RCD retirados después de hacer una demolición. Este método podría ser uno de los más prácticos y consiste en llevar un registro de la cantidad de vehículos que se cargan con RCD y de la capacidad de cada uno, de manera que al finalizar la tarea de recolección se cuantifique el volumen total de RCD. Un ejemplo de este registro se muestra en la Figura 40.

ATC-20 Formulario de Inspección de seguridad – Evaluación Detallada				
Inspección Inspector ID:..... Afiliación:..... Descripción del edificio		Día y hora de inspección:/...../..... AM <input type="checkbox"/> ; PM <input type="checkbox"/> Área inspeccionada: Sólo exterior <input type="checkbox"/> ; exterior e interior <input type="checkbox"/>		
Nombre del edificio: Dirección: Teléfono contacto edificio: Nro. De pisos sobre suelo: bajo suelo: Área aprox. de planta: m2 Nro. De unidades residenciales: Nro. De unidades residenciales no habitables:		Tipo de construcción <input type="checkbox"/> Pórtico madera; <input type="checkbox"/> Muro corte de concreto <input type="checkbox"/> Pórtico de acero; <input type="checkbox"/> Albañilería no reforzada <input type="checkbox"/> Panel de concreto; <input type="checkbox"/> Albañilería no reforzada <input type="checkbox"/> Pórtico de concreto; <input type="checkbox"/> Otro:.....		
		Ocupación Primaria: <input type="checkbox"/> Vivienda; <input type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Educativo; <input type="checkbox"/> Oficinas <input type="checkbox"/> Asamblea Pública; <input type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Servicios de emergencia; <input type="checkbox"/> Gubernamental		
		Cantidad de residuos generados: t		
Evaluación Investiga el edificio para las condiciones de abajo y selecciona la columna apropiada.				
	Menor/ninguna	Moderado	Severo	Comentarios
Riesgos generales:				
Colapso o colapso parcial	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Edificio o piso inclinado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Otro.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Amenazas elemento estructurales:				
Cimentaciones	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Techos, suelos (cargas verticales)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Columnas, pilastras, ménsulas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Diafragmas, vigas peraltadas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Muros, arriostres verticales (diagonales)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Conexiones prefabricadas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Otros.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 40. Ejemplo de formato de registro para la cuantificación de RCD

Existen otros métodos que también pueden realizarse para estimar los RCD, por ejemplo, el uso de la fotogrametría, la cual es una técnica que tiene como objeto estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera utilizando medidas hechas sobre una o varias fotografías (Clavo L.,1985). Aunque la fotogrametría analógica es tan antigua como la fotografía misma, en la actualidad las computadoras nos permiten el tratamiento digital de las imágenes con un ahorro de tiempo y aumento en la capacidad de procesamiento. El análisis fotogramétrico computarizado permite obtener nubes de puntos, los cuales pueden utilizarse para crear una malla 3D de alta resolución.

En la última década se han empleado vehículos aéreos no tripulados (VANT), conocidos como drones, adaptados con cámaras de alta resolución para el reconocimiento de terrenos o la teledetección, los cuales capturan una secuencia de fotografías aéreas (cenitales u oblicuas) y son procesadas en softwares especializados para obtener ortofotografías, modelos digitales de elevación y modelos 3D del terreno que integren texturas y volúmenes (Acosta G. et al., 2018).

Para la determinación del volumen de residuos generados en un sismo, se propone el empleo del análisis fotogramétrico mediante el uso del VANT siguiendo las instrucciones del punto 4.4.1.1.

4.4.1.1 Empleo de vehículos aéreos no tripulados para la cuantificación de residuos generados post sismo

Planificación del vuelo

El vuelo de los VANT se realiza en modo manual, asistido o autónomo, de acuerdo con las condiciones ambientales, topográficas y a la pericia del piloto (Nex F. y Remondino F., 2014).

- i) **Manual:** En el modo manual, el piloto utiliza el mando para controlar la velocidad angular de rotación del dron, es decir, una vez que se mueve la palanca del VANT, este comienza a girar a velocidad constante y una vez que se suelta la palanca, el VANT mantendrá el ángulo alcanzado y no lo variará a menos que reciba otra entrada del mando. Sin embargo, este modo de vuelo no se recomienda debido a que puede provocar choques costosos debido a su inestabilidad inherente.

- ii) **Asistido:** Este modo de vuelo recibe una serie de órdenes de vuelo por parte de un operador de vuelo y las ejecuta de forma autopilotada.
- iii) **Autónomo:** Para este modo de vuelo el operador define una ruta y el VANT recorre de forma autopilotada, sin embargo, el piloto puede cambiar la ruta si así lo desea y tomar el control de la aeronave.


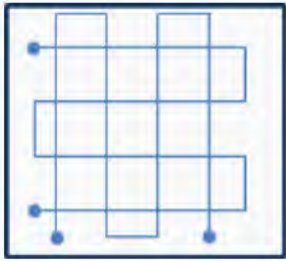
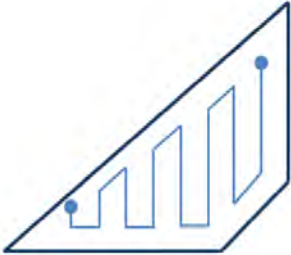

En cualquiera de los tres modos, la captura de las fotografías debe considerar una sobreposición entre una imagen y otra, el objeto de este recubrimiento fotográfico es el de poder aplicar el principio de la visión estereoscópica a los fotogramas aéreos, debiendo poderse enlazar estos modelos. Para terrenos llanos se recomienda un recubrimiento longitudinal del 60% y 25% transversal, mientras que para terrenos montañosos el recubrimiento recomendado va de 70 a 80% longitudinal y de 30 a 35% transversal.



Figura 41. Diferentes modos de vuelo y su tipo de captura.
Fuente: Nex F., 2014.

La orientación de las fotografías y el solape entre ellas se consigue según el tipo de vuelo que se realice, los patrones en la captura también pueden variar, las más comunes y los resultados obtenidos se identifican en la *Tabla 14*.

Tabla 14. Patrones de captura más comunes

Tipo de patrón de captura	Finalidad y resultados
<p data-bbox="444 323 589 352">Cuadrícula</p> 	<p data-bbox="821 323 1382 352">Adecuado para la mayoría de los entornos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="821 394 1382 478">-Interés principal para 2D (DSM, orto mosaico) <li data-bbox="821 520 1044 550">-Superficie plana <li data-bbox="821 592 997 621">-Área grande
<p data-bbox="477 663 557 693">Rejilla</p> 	<p data-bbox="821 663 1382 747">Asegura que las fotografías se tomen desde varios lados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="821 789 1247 819">-Interés principal en modelos 3D <li data-bbox="821 861 1336 890">-Superficies con fluctuaciones de altura <li data-bbox="821 932 1317 961">-Ideal en áreas pequeñas y medianas
<p data-bbox="461 1066 573 1096">Polígono</p> 	<p data-bbox="821 1066 1382 1192">Empleado para cuando se requieren límites flexibles, y se requiere asegurar la superposición necesaria</p>
<p data-bbox="467 1451 566 1480">Circular</p> 	<p data-bbox="821 1451 1382 1535">Se utiliza para misiones elipsoides alrededor de los objetos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="821 1577 1247 1606">-Interés principal en modelos 3D <li data-bbox="821 1648 1011 1677">Área pequeña <li data-bbox="821 1719 1279 1749">-Estructuras complejas o verticales

Fuente: <https://www.cursosteledeteccion.com/como-planificar-el-vuelo-de-tu-dron/>

De manera particular, en caso de sismo, se propone que para la cuantificación de RCD se realice un plan de vuelo considerando lo siguiente:

- Selección del área de estudio, la cual puede ser por colonia.
- Modo de vuelo: autónomo
- Velocidad recomendada: 15 m/s
- Superposición programada en el VANT: mínimo 60%
- Tipo de patrón de captura recomendando: rejilla
- Apoyo topográfico para contar con un mayor control de la superposición de las fotografías capturadas
- Prestar atención especial a la presencia de obstáculos como árboles o edificios que pueden obstaculizar el vuelo del VANT y considerar intervenciones del piloto en caso de que estos obstáculos puedan implicar un choque
- Se sugiere emplear un VANT con un multirrotor para cubrir superficies de 15 a 30 hectáreas como máximo por vuelo o un VANT de ala fija con el cual es posible cubrir superficies de hasta 100 hectáreas

Ubicación de puntos de control

Es muy recomendable establecer puntos de control en el área, estos puntos deben colocarse de manera manual antes de que se vuele el VANT, realizando marcas distribuidas de manera homogénea y claras como para ser identificadas en las fotografías (*Figura 42* y *Figura 43*) y se crean para generar un sistema de coordenadas geográficas. Se requiere un mínimo de tres puntos de control de tierra que se utilizan para corregir la orientación de la imagen y obtener mayor precisión. En el área de estudio cubierta por características naturales, no es apropiado usar árboles y rocas como puntos de control. Es recomendable que se cuente con un equipo de ingenieros civiles o geomáticos para el establecimiento de los puntos, por tanto, se sugiere una colaboración con la SOBSE.



Figura 42. Identificación de puntos de control.

Fuente: <https://www.dronetechplanet.com/what-are-ground-control-points-gcps-for-drone-mapping/>

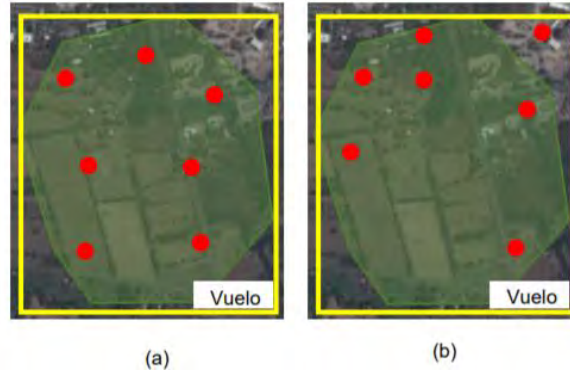


Figura 43. Distribución de puntos de control a) Correcta b) Incorrecta.
Fuente: Claros R., Guevara A., Pacas N., 2016

Captura de fotografías

El VANT debe ser preparado para el vuelo, por ejemplo, verificar su hardware, incluyendo bastidor, motores, hélices, batería, sensores y disponibilidad de señal, encender la cámara, cargar la ruta de vuelo y la superposición deseada, verificar el entorno y condiciones, que incluyen espacio aéreo circundante, viento, peligros humanos, encienda el motor y levantarlo del suelo de manera manual para después cambiarlo al modo de vuelo autónomo. En caso de un vuelo autónomo, después del despegue el VANT seguirá la ruta y capturará una fotografía según la superposición cargada. En caso de un evento inesperado, la intervención manual es posible en cualquier momento y cuando se alcanza el último punto de referencia la VANT regresa de forma automática a su ubicación de despegue (Siebert S. et. al., 2014).

Procesamiento de imágenes

El procesamiento de fotografías adquiridas por el VANT se realiza utilizando paquetes de software fotogramétricos tradicionales. El flujo de trabajo es un proceso de tres pasos:

1. Carga y alineación de imágenes: El software identifica y alinea las fotografías tomadas de acuerdo con sus coordenadas geográficas, y estas se corrigen cargando los puntos de control.
2. Densificación de nube de puntos: Se obtiene una densificación de la nube de puntos, lo cual resulta en un modelo tridimensional detallado.
3. Aplicación de textura a la malla: El modelo obtenido mediante la densificación de la nube de puntos, se afina con los puntos de control obtenidos y el software procesa una ortoimagen en donde es posible, incluyendo el volumen.

De acuerdo con Federman A. et. al., 2017 el software más común utilizado para procesar las fotografías es Agisoft PhotoScan, aunque de acuerdo con Aicardi et. al., 2016 algunos de los softwares con mayor precisión por la densidad de puntos generados son: Context Capture (19 millones de puntos), SURE (7.5 millones de puntos), Pix4D (4.4 millones de puntos), Mic Mac (4 millones de puntos) y Agisoft Photoscan (3.5 millones de puntos), sin embargo, en todos los softwares se observan resultados de gran calidad.

Cuantificación de los RCD generados en un sismo

Como resultado del procesamiento de imágenes en el software Agisoft Photoscan, se obtiene un volumen en metros cúbicos de los RCD del área de estudio, los cuales pueden ser convertidos a unidades de masa, mediante el peso volumétrico de los RCD. De acuerdo con CMIC, 2016 el cascajo tiene un rango de 1280 a 1360 kg/m³. De acuerdo con Hugenholtz et al., 2014; este método tiene un nivel de confianza del 96% comparado con modelos digitales in situ y 97% de confianza compada con métodos como la cuantificación de números de camiones y pesado en básculas, exceptuando aquellos terrenos en los cuales la vegetación sea muy densa, en cuyo caso se sugieren los métodos tradicionales.

Conclusiones sobre la generación de RCD en caso de sismos:

- Los residuos que se generan después de un sismo de manera inevitable estarán mezclados, por lo tanto, es necesario que la estrategia para su manejo considere la posibilidad de valorización de cada una de las fracciones.
- Es muy importante que se realice la cuantificación de los residuos que se generan después de un sismo, para ello pueden emplearse métodos tradicionales o la fotogrametría, incluso es posible combinar estas técnicas para obtener una mayor precisión. Por lo tanto, se sugiere que se realice una actualización de los formatos de evaluación de daños, se realice el conteo de los vehículos cargados de RCD después de la recolección y el uso de la fotogrametría con VANT.
- Se requiere la publicación del procedimiento a seguir para el manejo de los residuos que se generan después de un sismo. Se recomienda que sea incluido en el “Plan de Emergencia Sísmica de la Ciudad de México”
- Se recomienda que se la SOBSE la dependencia encargada de llevar el registro de los residuos generados después de un sismo.

4.4.2 Almacenamiento temporal

En situaciones ordinarias, los RCD son generados en obras civiles y de manera ideal estos son clasificados en fracciones que favorezcan su aprovechamiento, después se almacenan de manera temporal en terrenos aledaños a la misma obra y al final son recolectados y transportados para su tratamiento o disposición final. Sin embargo, cuando se generan RCD por un sismo, de manera general estos permanecen en el sitio de derrumbe hasta que puedan ser clasificados, recolectados y transportados para su disposición final, es decir, no son clasificados de manera inmediata y el tiempo que permanecen en dicho sitio es considerado como un almacenamiento temporal.

De manera preferente los RCD deben de permanecer poco tiempo en el sitio de derrumbe, debido a que si permanecen demasiado tiempo pueden convertirse en un foco de contaminación. A manera de ejemplo, después del Gran Sismo del Este en Japón, este país mantuvo el almacenamiento temporal por dos meses (Figura 44).

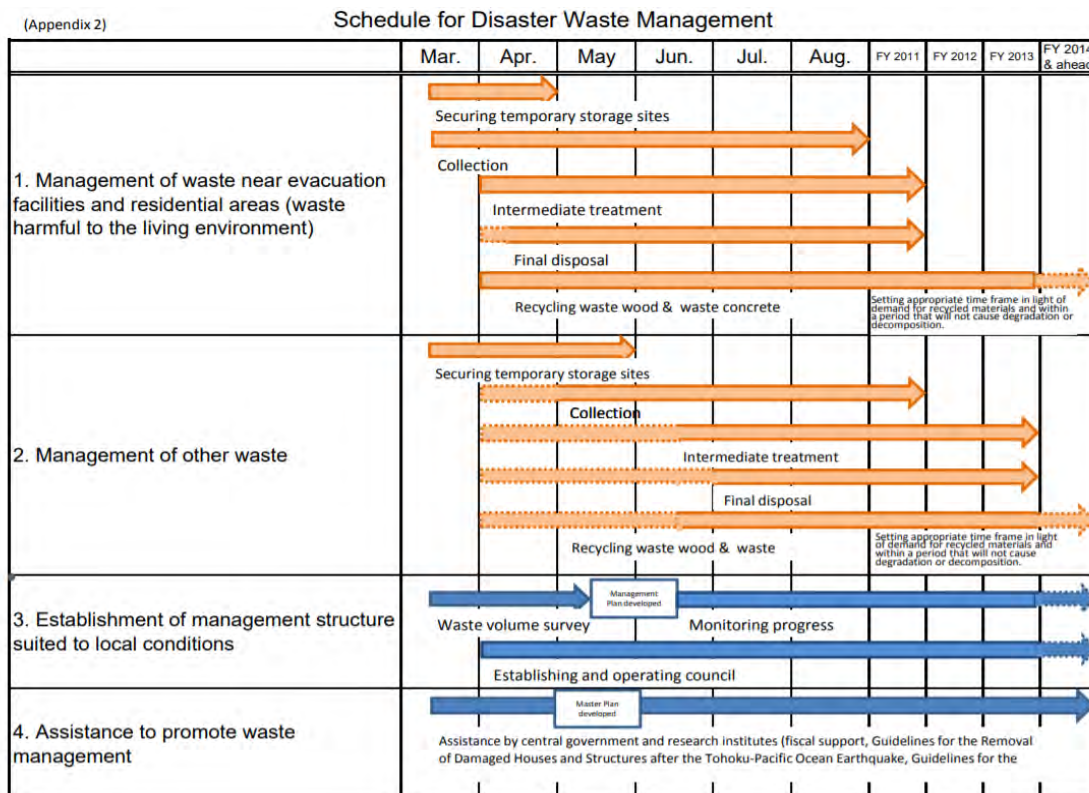


Figura 44. Tiempo empleado para el manejo de los residuos después del Gran Sismo del Este en Japón.

Fuente: Ministry of the Environment of Japan, 2011

También en Japón, en donde los desastres naturales son comunes, los RCD y otras corrientes de residuos que se generan en estas contingencias son evaluados y si se determina que la cantidad de residuos generados es grande, se identifican los posibles sitios de almacenamiento, la cantidad de RCD generados y si es necesario son transportados a un sitio temporal en donde son separados y almacenados, en algunas ocasiones, se realizan los procesos para el tratamiento de los RCD, tales como la trituración y el cribado se lleva a cabo ahí mismo (Ministry of the Environment of Japan, 2011), estos sitios son establecidos en lugares donde hay pocas residencias, escuelas, hospitales e instalaciones de bienestar y el almacenamiento temporal es realizado a pocos días de haber ocurrido del desastre y se asegura el despeje de carreteras y libre circulación por las calles, así mismo se realizan las siguientes recomendaciones:

- Evitar las instalaciones designadas como sitios de evacuación y áreas con gran impacto a los residentes, los alrededores, el medio ambiente y la industria
- Ubicar los sitios en terrenos públicos, como parques, terrenos o salidas públicas de instalación
- Diseñar rutas adecuadas de carga y descarga eficientes que no ocasionen conflictos con el tráfico diario
- Dar preferencia a pisos de concreto o asfalto, pues estos son recomendables para el paso de vehículos grandes y pesados

Al respecto, la EPA recomienda que se identifiquen espacios acondicionados de manera especial para clasificar, almacenar y procesar los RCD. Esta identificación previa permite reducir los tiempos de viaje, el consumo de combustible y los riesgos asociados al inadecuado manejo de estos residuos, asimismo los sitios seleccionados pueden emplearse para distribuir productos reutilizables o reciclados por el público en general. Según la Federal Emergency Management Agency, se necesitan 100 acres de tierra (de manera aproximada de 40 hectáreas) para procesar 730,000 m³ de RCD y debe de cumplir con al menos las siguientes características:

- Ubicarse lejos de pozos de agua potable, mantos acuíferos, humedales y áreas naturales protegidas
- No ubicarse en áreas con riesgo de inundación
- Libre de obstrucciones, como líneas eléctricas y tuberías
- Facilidad de acceso de equipos y maquinaria pesada

- Limitar el acceso al público, es decir el público accederá a la zona de recepción de residuos y acceso a materiales con potencial de valorización
- Ubicarse cerca del área impactada y lo más lejos posible de residencias, oficinas, negocios y lugares públicos para que estos no se vean afectados por el traslado de los residuos.

En México, la NADF-007-RNAT-2013 que establece la clasificación y especificaciones de manejo para residuos de la construcción y demolición en el Distrito Federal (ahora Ciudad de México), indica que en condiciones ordinarias el almacenamiento de los RCD puede realizarse de dos maneras:

- Almacenamiento para generadores de hasta 7m³: Estos generadores deberán entregar sus RCD en centros de acopio, reciclaje o sitios de disposición final autorizados
- Almacenamiento para generadores de más de 7m³: Estos generadores podrán almacenar sus residuos en el predio o centros de acopio públicos o privados

Para la presente guía se estableció que el almacenamiento en el sitio de derrumbe, no mayor a 6 meses es el más adecuado, considerando el volumen de RCD que se genera y el manejo que se le daría en condiciones ordinarias, asimismo se consideró la opción más viable debido a que la Ciudad de México es una de las urbes más congestionadas del mundo de acuerdo con el Índice Tom Tom Traffic, 2017 y transportar los RCD supondría remarcar este problema, aunado a la liberación de gases contaminantes provenientes de los vehículos de transporte. De manera adicional, las alcaldías que más daños han registrado en los sismos anteriores son también algunas de las más pobladas y con menos espacio disponible, sin embargo, podría considerarse el establecimiento de un sitio de almacenamiento temporal si las alcaldías identifican predios disponibles y una gran generación de residuos.

Asimismo, la EPA reconoce que el uso de lugares para el almacenamiento temporal incrementa los costos globales de disposición debido a su doble manejo (EPA, 2008).

Conclusiones sobre el almacenamiento temporal de RCD en caso de sismos:

- El almacenamiento temporal de los RCD puede realizarse de dos maneras: en el sitio de derrumbe o en sitios seleccionados de manera previa, sin embargo, en este último caso, el traslado de los residuos RCD podría elevar los costos.
- Se recomienda que el almacenamiento temporal de los RCD después de un sismo en la Ciudad de México sea realizado en el sitio de derrumbe con una permanencia deseable no mayor a 6 meses como se establece en la NADF-007-RNAT-2013 para situaciones ordinarias. En caso contrario, se deberán seleccionar sitios públicos, evitando zonas de evacuación y áreas con gran impacto a los residentes, así como dar preferencia a pisos de concreto o asfalto.

4.4.3 Clasificación

Los residuos generados en un sismo son muy variados, además de los RCD podrían incluirse residuos eléctrico-electrónicos, muebles y otros residuos de madera, residuos domésticos peligrosos, residuos orgánicos, árboles caídos, vehículos, entre otros. Estos materiales deben clasificarse, almacenarse y recolectarse de forma adecuada, de manera que se facilite su reúso y reciclaje y la fracción que no sea recuperable se disponga de manera adecuada en sitios de disposición final aprobados por la SEDEMA, protegiendo la salud y seguridad de la comunidad, así como la generación del menor impacto posible al medio ambiente. De acuerdo con la EPA, 2019 todas las estrategias para el manejo de los residuos deben de considerar la reducción de costos y aumentar la eficacia, y si bien los residuos pueden ser trasladados y clasificados en un sitio de almacenamiento temporal, podría ser más efectivo realizar la segregación de los residuos en el punto de generación, o en la acera más cercana al punto de generación. La EPA recomienda que los residuos generados en un desastre natural sean separados en al menos 6 categorías entre los cuales se encuentran los RCD, así como residuos electrónicos, residuos de manejo especial, peligrosos, residuos de jardinería y sólidos urbanos, estos son colocados en aceras y banquetas en un espacio de 10 pies (3 metros de manera aproximada) y no deben de estorbar para la entrada de casa habitación, oficinas o centros comerciales, asimismo se recomienda que estén separados de árboles, hidrantes y cualquier otra estructura que pudiera estorbar durante la recolección (Figura 45).

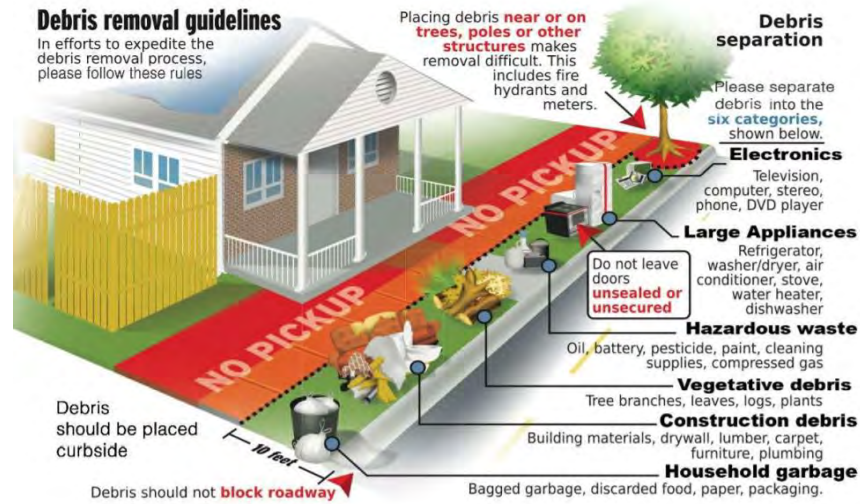


Figura 45. Ejemplo de clasificación y almacenamiento de residuos después de un sismo.

Fuente: EPA, 2019.

Se sugiere que, en caso de sismos en la Ciudad de México, los residuos se clasifiquen en 5 categorías: RCD, residuos eléctricos y electrónicos, peligrosos, residuos de jardinería y residuos sólidos urbanos (Figura 46).

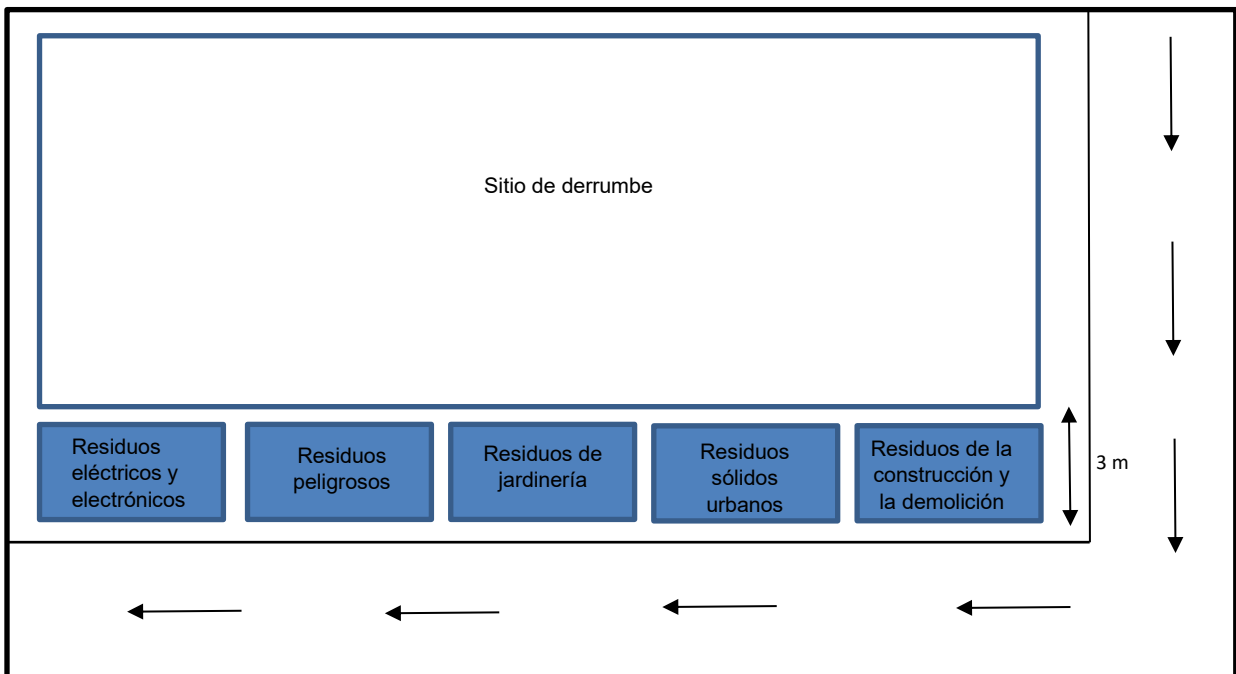


Figura 46. Clasificación de los residuos generados después de un sismo en la CDMX.

Fuente: elaboración propia a partir de las recomendaciones de la EPA, 2019

Asimismo, se recomienda la siguiente subclasificación de lo RCD:

- Adocretos
- Arcillas
- Blocks
- Tabiques
- Cerámicos
- Concreto armado
- Concreto simple
- Mampostería
- Ladrillos
- Fresado de carpeta asfáltica
- Todo en uno (mezcla de los residuos anteriores)

Cabe destacar que la NADF-007-RNAT-2013 ya establece una subclasificación de RCD, sin embargo, esta no se considera adecuada para los residuos generados después de un sismo ya que en la práctica es muy complicado y costoso realizar una separación tan detallada, por lo tanto, se propuso la clasificación antes expuesta, de acuerdo con las respuestas obtenidas en la entrevista realizada a la empresa “Concretos Reciclados S.A. de C.V.”, con la finalidad de facilitar el tratamiento. Cabe destacar que la empresa prohíbe la entrada de los siguientes residuos:

- Residuos sólidos urbanos
- Orgánicos
- Aceites
- Grasas
- Asbestos
- Baterías
- Aparatos eléctricos y electrónicos
- Llantas usadas
- Papel
- Plásticos y químicos
- Textiles y vidrio
- Tablaroca y yeso

Conclusiones sobre la clasificación de RCD en caso de sismos:

- La correcta clasificación de los RCD facilitará su reúso y reciclaje y disminuirá el porcentaje de los residuos que terminan en rellenos sanitarios y tiraderos a cielo abierto, el resto de los residuos que se mezclan también son sujetos a valorización tales como los metales, la madera, el plástico y el papel, por tanto, en medida de lo posible se sugiere su separación.
- Se recomienda que, en caso de sismos en la CDMX, la clasificación sea realizada de manera conjunta con la recolección in situ y que las categorías a considerar sean: RCD, residuos eléctricos y electrónicos, peligrosos, residuos de jardinería y residuos sólidos urbanos
- De ser posible se recomienda que se realice una subclasificación de los RCD cual facilitará el tratamiento de estos residuos

4.4.4 Recolección y transporte

Después de que ocurre un sismo o cualquier otra contingencia, la población espera que se retiren los escombros de las zonas urbanas inmediatas, por lo tanto, una adecuada estrategia para la recolección de los residuos es muy importante. Para realizar las actividades de recolección, se deberán tomar en cuenta las recomendaciones indicadas en la NADF-007-RNAT-2013:

- Durante la recolección y transporte de los RCD se debe mantener la separación de estos residuos realizada de manera previa y evitar mezclar con residuos peligrosos o urbanos
- Los prestadores de servicio de transporte de RCD deben estar autorizados por la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México
- El prestador del servicio del transporte debe circular en todo momento, con los aditamentos necesarios que garanticen la cobertura total de la carga para evitar la dispersión de polvos y partículas, así como la fuga o derrame de residuos líquidos durante su traslado a sitios de disposición autorizados, de conformidad con la NADF-007-RNAT-2013
- Los prestadores de servicio deberán contar con un registro de las unidades vehiculares autorizadas para la recolección, transporte y transferencia de residuos, y con un sistema de control y monitoreo que transmita en tiempo real la información y ubicación del vehículo en ruta, llamado de manera común Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés), que permita a la SEDEMA verificar las rutas de origen y destino. Lo anterior, conforme a los lineamientos que la SEDEMA determine

Se pueden usar numerosos vehículos diferentes para recolectar los residuos generados por un sismo, que incluyen:

- Vehículos de elevación delantera
- Vehículos de carga trasera
- Roll-on-roll-off (RORO) (rígido y articulado)
- Petroleros (rígidos y articulados)
- Volquete tándem / gato montés y remolque para perros
- Semi-volquete (cuerpo de acero y aluminio)

- camiones de volteo
- Vehículos de elevación lateral
- Cama plana / puertas
- Camión pantech / portón trasero.

Se deben considerar varios factores al seleccionar un vehículo para transportar residuos, tales como los que se mencionan a continuación. Una guía rápida para la selección de los vehículos se muestra en la

Tabla 15 y Tabla 16.

- Tipo de residuo
- Disponibilidad de vehículos de recolección (que depende del stock de vehículos disponibles por el consejo, contratistas de residuos y civiles en la región)
- Método de carga de residuos (por ejemplo, si los desechos se presentan en una pila, entonces un cargador puede ser de gran utilidad). Distancia de viaje y capacidad de carga del vehículo (por ejemplo, si los desechos se mueven largas distancias)
- Otras consideraciones prácticas, como la accesibilidad al sitio donde se están recolectando los residuos.

Tabla 15. Guía rápida para la selección vehículos para el transporte de residuos

Tipo de vehículo	Tipo de residuos													Capacidad típica del vehículo	
	RCD	Residuos mezclados	Orgánicos o jardinería	Metales	Líquidos	Asbestos	RSU	Químicos	Médicos	E-waste	Peligrosos	Postes*	Cadáveres de animales	Metros cúbicos	Toneladas
Vehículo de ascensor delantero														27-30	9-11
Vehículo de cargador trasero													1	18-22	9-11
Roll-on-roll-off (rígido)													1	11-30	9-11
Roll-on-roll-off (articulado)													1	11-30	16-18
Skip truck													1	4-10	Hasta 8

Vehículo de elevación lateral														27	9
Cisterna rígida														8000-11000L	
Cisterna articulada														Hasta 30,000L	
Camión de volteo													1		Hasta 15
Remolque de semivolteo de acero													1		22-25
Remolque de semivolteo de aluminio													1		25-28

Postes preservados con sales de cobre; 1) Asegúrese de que los contenedores con tapa estén cubiertos. Los vehículos deben lavarse y desinfectarse de forma adecuada una vez que la carga se haya volcado. Fuente: Government of South Australia, 2018.

Tabla 16. Tipos de vehículos y consideraciones particulares

Tipo de vehículo	Consideraciones
Vehículo de ascensor delantero	Un vehículo de elevación frontal requiere la entrega y la recogida de contenedores de residuos.
Vehículo de cargador trasero	Los vehículos de carga trasera se pueden cargar a mano o excavadora pequeña. El lince o la excavadora necesitaría ser transportada en un vehículo separado.
Roll-on-roll-off (RORO) rígido y articulado	Los contenedores RORO se pueden entregar y dejar en el sitio para su llenado y el vehículo puede regresar y recogerlo más tarde. El contenedor de residuos se puede llenar con bobcat, excavadora y rueda cargadora o a mano.
Skip truck	Los contenedores de residuos se pueden entregar y dejar en el sitio para su llenado y el vehículo puede regresar y recogerlo más tarde. El contenedor de residuos se puede llenar con bobcat, excavadora y rueda cargadora o a mano
Vehículo de elevación lateral	En un evento de desastre, los vehículos de elevación lateral podrían tener poco o ningún papel que desempeñar debido a la pequeña área de carga y a que necesita el uso de contenedores de residuos móviles.

Cisterna rígida	Los petroleros pueden variar en tamaño dependiendo de su uso y acceso requerido. Por ejemplo, en un área metropolitana estos vehículos petroleros pueden ser bastante pequeños y en el campo pueden ser más grandes para minimizar los viajes al punto de disposición final de los residuos.
Cisterna articulada	Los petroleros articulados son más propensos a ser utilizados en recorridos por el campo a larga distancia y transportan combustibles líquidos, gases, etc.
Camión de volteo	Los camiones de volteo son útiles para la limpieza durante un desastre. Ellos pueden transportar volúmenes de manera relativa grandes de material y se puede mover de sitio a sitio. Estos camiones son de forma general de cuerpo de acero y, por lo tanto, pueden transportar secciones de hormigón grandes y objetos metálicos, así como materiales más blandos como residuos duros y sólidos municipales, etc.
Remolque de semivolteo de acero	Los remolques de semivolteo de cuerpo de acero pueden transportar grandes volúmenes, pero necesitan de transporte adicional y equipo de descarga. Estos vehículos son útiles en eventos de desastre, de un gran volumen de material de desecho inerte o de metales pesados, reduciendo la necesidad de transportar excavadoras o cargadoras.
Remolque de semivolteo de aluminio	Los remolques de semivolteo de aluminio pueden transportar grandes volúmenes, pero se necesita mucho cuidado cuando se cargan materiales pesados, como grandes objetos de hormigón y metal ya que pueden destruir el cuerpo de aluminio más blando.

Fuente: Government of South Australia, 2018.

Los vehículos que sean destinados para la recolección de los RCD deben estar en buen estado de conservación, sin fugas de aceites o combustibles, con el sistema de evacuación de gases funcionando de manera adecuada, de tal manera que el residuo sea el mínimo; además deberá contar según corresponda con los permisos de circulación y la revisión técnica vehicular.

4.4.4.1 Métodos de recolección

Los principales métodos de recolección de RCD son los centros de recolección y recolección en la acera. El personal de planificación puede adaptar la operación de recolección utilizando la recolección en la acera, centros de recolección, o una combinación de ambos, dependiendo de la jurisdicción específica, cantidades y tipos de escombros.

Método de recolección de acera

La recolección en la acera es un método de recolección de residuos en el cual el vehículo recolector de residuos llega hasta la fuente de origen a recoger los residuos para enviarlos a tratamiento o disposición final.

El manejo de los RCD generados por un sismo es diferente a aquellos que se generan en condiciones ordinarias, pues cuando ocurre un sismo, en algunos casos las edificaciones colapsan y los RCD quedan dispersos en las calles, sin embargo, en otros casos, se requiere emplear maquinaria pesada para realizar las demoliciones correspondientes y es en ese punto cuando se generan más RCD. En ambos casos los residuos se encuentran mezclados con otro tipo de residuos y se requiere maquinaria especializada para su clasificación y recolección. Por lo anterior, es posible distinguir dos subcategorías de este método de recolección:

- Recolección en fuente de residuos mezclados
- Recolección en fuente de residuos clasificados

De manera particular, como se indicó en etapas previas, se recomienda que, en caso de sismo en la CDMX, los residuos sean clasificados. Por lo tanto, se realizará la recolección en fuente de los residuos clasificados.

Centros de recolección

Este método está ligado al tipo de almacenamiento que se elija, es decir, si los RCD permanecen en el punto de origen; el método de acera deberá ser empleado. Sin embargo, si se decide que los residuos sean almacenados y clasificados en un sitio diferente a la fuente de origen, entonces se aplicará el método de centro de recolección, es decir, la recolección en el punto en el cual se han concentrado los RCD y las otras fracciones de residuos que se generan cuando ocurre un sismo.

Conclusiones sobre la recolección y transporte de los RCD después de un sismo:

- La recolección de los RCD después de un sismo deberá ser realizada por prestadores de servicio autorizados por la SEDEMA, evitando la dispersión de polvos y la mezcla con otro tipo de residuos.
- De acuerdo con las recomendaciones internacionales, algunos de los vehículos más útiles para la recolección y transporte de RCD son el tipo roll-on-roll-off, los camiones de volteo y remolques de semivolteo.
- El método de acera se recomienda para la recolección de los RCD, en el cual los residuos son recolectados en la fuente de origen, en el cual se espera que los residuos hayan podido ser clasificados para facilitar el tratamiento.

4.4.5 Tratamiento

Muchos de los RCD generados después de un desastre natural pueden ser recuperados y ser sometidos a un tratamiento para su incorporación en la producción de nuevos materiales de la construcción. El reciclaje de estos RCD fomenta la conservación de los recursos naturales que se utilizan para la industria de la construcción y permite ahorrar espacio en los sitios de disposición finales a los cuales llegarían los RCD en caso de recibir algún tratamiento.

De manera general en las plantas de tratamiento, la tecnología a utilizar supone una primera fase de preclasificación de materiales, trituración, cribado y clasificación final del producto de salida. El objetivo de este proceso es obtener un producto similar a los áridos que se comercializan de forma común y que son la materia prima de los materiales de construcción. Este proceso de reciclaje también puede ser llevado a cabo en plantas móviles a pie de obra, lo que permite la fabricación de áridos con las características propias in situ, según la aplicación a la que va a ser destinado. El proceso realizado por la empresa Concretos Recicladados S.A. de C.V. se muestra en el Diagrama 4.

El reciclaje de los RCD puede representar ventajas socioeconómicas si se considera que estos sustituyen a los agregados tradicionales provenientes de reservas naturales que muchas veces son devastadas en la actividad de extracción. Además, la limpieza de

tiraderos clandestinos y avenidas obstruidas por estos residuos puede llegar a tener altos costos. Por otro lado, el material recuperado se puede usar en obras de mejoramiento de rellenos sanitarios de residuos sólidos urbanos (recubrimiento de rellenos o construcción de caminos en el relleno sanitario), en obras civiles (vías de acceso en la zona afectada, diques, taludes, reforzamiento de riberas, etcétera). Para conformar un programa de reutilización y reciclaje, es necesaria la evaluación del potencial de reutilización y reciclaje, así como un análisis económico de la reutilización y reciclaje frente a un desarrollo de un programa de rellenos de RCD (UICN, 2011). Algunos de los RCD más importantes y sus posibles aprovechamientos se describen a continuación:

Asfalto: La mayor parte de los residuos de asfalto proceden de proyectos de repavimentación. La mayor parte del pavimento reutilizado se procesa para formar una capa de base de carretera, pero hasta el 40% puede incluirse en nuevos pavimentos. El pavimento de asfalto se procesa solo o con el hormigón y otros escombros; se rompe la mezcla, se separan de forma magnética los metales féreos y se criba el material roto al tamaño deseado. Al material tamizado se le añaden otros escombros rotos y cribados, y se utiliza como capa de base de carreteras, o se mezcla con aglomerante asfáltico fresco, para fabricar material nuevo de pavimentación.

Concreto: La mayor parte del concreto recuperado procede de carreteras, puentes y cimentaciones; se procesa para usarlo como capa de base de carreteras, agregado pétreo de pavimentos asfálticos y como sustituto de grava en el agregado de concreto nuevo. Los áridos recuperados deben ser competitivos respecto a los materiales nuevos y los procesadores pueden mantener precios bajos, mediante el cobro de tarifas de vertido para materiales de concreto.

Madera: Los residuos de madera procedentes de la construcción o demolición provienen de estructuras y encofrados de madera laminada y de conglomerado, y de madera contaminada con pintura, amianto o material de aislamiento. Como la mayoría de los residuos de madera son procesados para producir combustible o cubrimiento en paisajismo, en condiciones ordinarias, los procesadores aceptan madera limpia. Los residuos de madera se trituran en una cuba trituradora u otras trituradoras comerciales para madera, y se pasan a través de una clasificadora o tropel, donde se separan las piezas grandes. Los metales féreos se separan de forma magnética y los finos se separan mediante cribado.

Metales: de forma mayoritaria el hierro y el acero, que pueden fundirse después para su recuperación y aprovechamiento. De manera general, el acero de forjado utilizado en

cimentaciones, losas y pavimentos se recupera y se vende a los comerciantes de chatarra. Los procesadores también recuperan la chatarra no férrea, como marcos de ventanas de aluminio, puertas, canalones, chapa, tubería de cobre e instalaciones de fontanería.

Como se señaló, la empresa Concretos Reciclados S.A. de C.V. tiene como objetivo el reciclaje de RCD y es la única en su tipo en la Ciudad de México, tiene una capacidad de reciclaje de 2,000 toneladas de RCD al día y cuenta con una capacidad total de almacenaje de 3,000,000 m³ de los mismos. La empresa se ubica en Av. del Árbol 106, El Triángulo, Iztapalapa, 09760 Ciudad de México, CDMX. El proceso de reciclaje de los RCD que se lleva a cabo en estas instalaciones se describe a continuación. Se realizó una entrevista a Concretos Reciclados S.A. de C.V. y como resultado se obtuvo que:

- Los residuos de la demolición que se generaron en el sismo del año 2017 no fueron llevados a esta empresa para su reciclaje, por lo tanto, se estima que estos terminaron en SDF.
- Aunque la venta de los materiales para la industria de la construcción fabricados a partir de RCD reciclados ha incrementado, no es suficiente para aprovechar todos los residuos generados de manera ordinaria y en caso de una contingencia. Por lo tanto, se requieren estrategias que incentiven la compra de materiales reciclados y se disminuya la sobreexplotación de áridos naturales y de canteras.

Proceso de reciclaje de RCyD

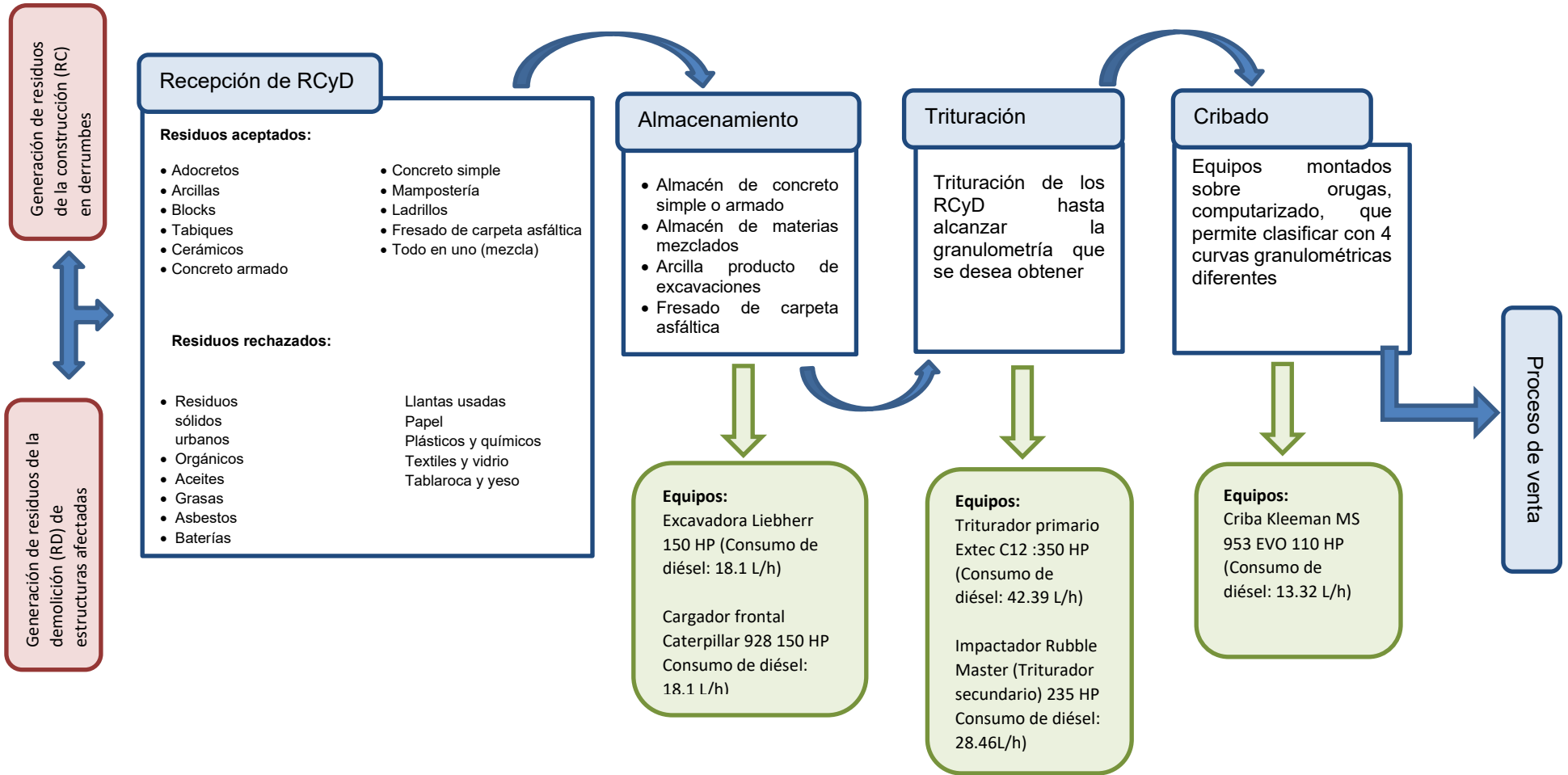


Diagrama 4. Tratamiento de RCD realizado en la empresa Concretos Reciclados S.A. de C.V.

Conclusiones sobre el tratamiento de los RCD después de un sismo:

- El reciclaje de los RCD puede representar ventajas socioeconómicas y ambientales, si se considera que es posible disminuir la explotación de recursos naturales vírgenes y se evita que los residuos de estos materiales lleguen a sitios de disposición final.
- Se recomienda que los residuos generados después de un sismo sean enviados a la planta de tratamiento “Concretos Reciclados S.A. de C.V., para ello se requiere que los residuos sean clasificados
- Se deberá evitar enviar las siguientes fracciones de residuos a la planta de tratamiento: residuos sólidos urbanos, orgánicos, grasas, aceites, asbestos, llantas usadas, papel, plásticos y químicos, baterías, aparatos eléctricos y electrónicos, tabla roca y yeso

4.4.6 Disposición Final

Los sitios de disposición final (SDF) de RCD son lugares destinados a la eliminación de los restos de demolición no aprovechables y los escombros (materiales inertes). Los materiales que tengan como destino los SDF deben ser aquellos desperdicios o escombros que, por exceso o por imposibilidad de ser reutilizados o reciclados, deben disponerse en esos sitios.

El uso de rellenos sanitarios no es el más recomendable para el depósito de los RCD debido a que los volúmenes generados son muy grandes y suelen abatir la vida útil de esta infraestructura, por tanto, se recomienda que se evalúen las opciones de reciclaje antes de disponer los RCD en un relleno sanitario, sin embargo en caso de utilizarlos, se debe usar un área específica solo para los residuos de la construcción sin mezclarlos en las celdas de disposición final con los residuos sólidos urbanos. Los residuos de construcción y demolición, acondicionados y limpios, pueden ser utilizados como material para caminos perimetrales e interiores y como material de cubierta en rellenos sanitarios.

A continuación, se enlistan los criterios que deben considerarse para la operación de los sitios de disposición final de residuos de construcción y demolición producto de un evento de sismo de acuerdo con la SEMARNAT, 2017:

- Los residuos deberán ser depositados de forma ordenada en los sitios mediante la conformación de taludes, cuidando en todo momento su estabilidad.

- Todos los sitios deberán establecer un control a la entrada y un mecanismo de registro de todo material que ingrese al sitio.
- Deberá prohibirse la disposición de materiales o elementos mezclados con otros residuos como residuos líquidos, tóxicos, peligrosos, hidrocarburos o material que estuviera en contacto con ellos
- El tamaño del sitio de disposición final deberá ser acorde al volumen de residuos de construcción y demolición generados por el desastre natural
- El sitio de disposición final deberá contar con obras hidráulicas que permitan el adecuado drenaje de las aguas de escorrentía de lluvia tanto en el interior del sitio como en su perímetro, para garantizar la adecuada circulación del agua.
- El sitio deberá establecer horarios de recepción de residuos para evitar la afectación de la población por ruido
- De manera preferente, el sitio deberá realizar riego con agua tratada (no potable) para mitigar emisiones de polvos y partículas al aire.
- El sitio de disposición final deberá contar con la señalización necesaria en la entrada como en los caminos interiores y zona de tiro, con el objeto de evitar accidentes.

La disposición final se deberá realizar en alguno de los 30 SDF autorizados por la Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México (Figura 47). Cabe destacar que previa a los sismos, se encontraban autorizados 21 SDF, después de los sismos de septiembre de 2017, la cantidad de sitios se incrementó a 30.

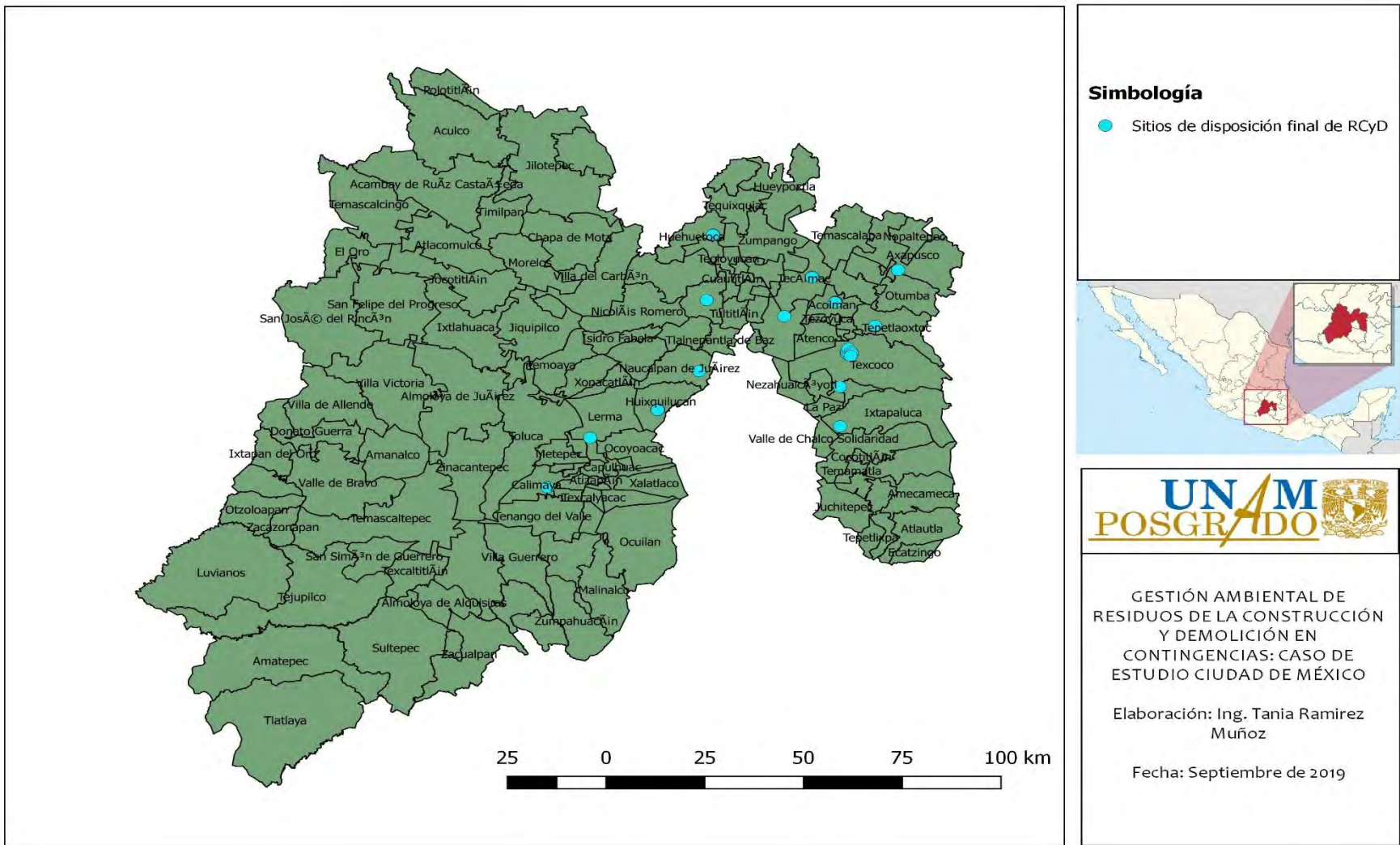


Figura 47. Sitios de disposición final en el Estado de México autorizados por la Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México.

Fuente: SEDEMA, 2019.

Respecto al saneamiento y clausura de estos sitios, una vez que ha finalizado su vida útil, SEMARNAT, 2017, recomienda que:

- Una vez terminada la actividad y vida útil de los sitios de disposición final de residuos de construcción y demolición generados por el sismo.
- La conformación final que se debe dar al sitio de disposición final debe ser conforme al uso final que se pretenda dar al sitio, las cuales podrán ser utilizados para áreas deportivas y áreas verdes.
- Se debe establecer un programa de mantenimiento de la cobertura final de clausura y drenajes superficiales.
- En el momento del cierre y abandono del sitio, se debe establecer un programa de actividades para la recuperación del sitio, tales como la revegetación y el control de erosión.
- El uso final de los sitios debe ser acorde con las restricciones inherentes a la posibilidad de hundimientos diferenciales.

Conclusiones sobre la disposición final de los RCD después de un sismo:

- Para el correcto manejo de los RCD, la disposición final en rellenos sanitarios deberá considerarse como la última medida a ejecutar y se deberá priorizar el reúso y reciclaje de los residuos generados a causa de un sismo. Asimismo, en caso de utilizar un relleno sanitario, su operación deberá considerar los criterios establecidos en esta guía y utilizando como referencia los criterios establecidos en la NOM-083-SEMARNAT-2003 sobre las Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.
- Se deberán utilizar los SDF autorizados por la Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México.
- Se deberá llevar un registro de los RCD que arriban a los SDF para mejorar el manejo actual de estos residuos.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

- Como parte del análisis de este estudio, se realizó una estimación de los RCD que se generaron en el sismo de 1957, 1985 y 2017, cabe destacar que se encontró registro de los RCD que fueron recolectados después de las demoliciones de las edificaciones que se dañaron o colapsaron después del sismo de 2017, los cuales equivalen a 104, 808 m³, a partir de este dato se realizó un análisis de generación de RCD por nivel y se obtuvo una media de 218 m³, a partir de este dato fue posible realizar el cálculo correspondiente para el sismo de 1957, en el cual se estima que se generaron 84, 802 m³, asimismo se realizó el cálculo para el sismo de 1985 con una generación estimada de 658, 796 m³.
- Se utilizaron los Sistemas de Información Geográfica para identificar los colapsos totales y daños graves ocasionados por los sismos de 1957, 1985 y 2017, en los cuales se identificaron 47 puntos de generación de residuos en el sismo de 1957, al menos 324 puntos en el sismo de 1985 y 60 puntos en el sismo de 2017. Se identificó que la principal zona afectada en estos tres sismos fue la “zona III o del lago” de acuerdo con la zonificación sísmica de la Ciudad de México, asimismo las principales alcaldías afectadas fueron: Cuauhtémoc y Benito Juárez.
- Se analizaron diversos métodos para la cuantificación de residuos, entre ellos, los métodos tradicionales como: la cuantificación a partir de los metros construidos y el empleo de factores de generación de residuos, o el conteo de que vehículo y su correspondiente capacidad de carga se utilizó durante la recolección en los puntos de generación. Asimismo, se propuso el empleo de VANT para la cuantificación de residuos y se realizó una prueba piloto en la cual se desglosa el procedimiento seguido. Es posible aplicar cualquiera de los métodos antes descritos para la cuantificación de los residuos, lo más importante es que la Ciudad de México genere más información sobre la cantidad de residuos que se generan después de un sismo y el impacto ambiental que tienen, de manera que pueda servir de insumo a los tomadores de decisiones involucrados en el manejo de los residuos.
- El almacenamiento temporal de los RCD generados después de un sismo puede ser llevado a cabo de dos formas diferentes: in situ o en un sitio exclusivo para el almacenamiento y manejo de los residuos. Sin embargo, debido a los costos, al poco espacio disponible en la Ciudad de México, las posibles afectaciones al tránsito vehicular y el tiempo que se requiere para almacenar todos los RCD en un solo punto,

se sugiere que el almacenamiento temporal sea in situ, pero que el almacenamiento sea máximo de 6 meses, ya que en sismos anteriores se detectó que los residuos permanecían en el sitio de derrumbe hasta dos años, ocasionando importantes afectaciones al medio ambiente.

- De acuerdo con el análisis de ciclo de vida, el mayor impacto se identificó en el escenario 1, en comparación con los escenarios 2 y 3. Respecto a las categorías de impacto, la más importante fue la de cambio climático en los tres escenarios: 586,000 kg CO_{2eq} (escenario 1), 282,000 kg CO_{2eq} (escenario 2) y 212,000 kg CO_{2eq} (escenario 3), mientras que la categoría de disminución de la capa de ozono fue la de menor impacto: 1.4E-02 kg CFC-11_{eq} (escenario 1), 8.7E-03 CFC-11_{eq} (escenario 2) y 7.77E-03 CFC-11_{eq} (escenario 3). Asimismo, los escenarios de tratamiento planteados en este estudio suponen una reducción de las emisiones de CO_{2eq} del 50% al 80%, del 35.8% al 56.23% de liberaciones de SO_{2eq}, del 37% al 45% de CFC-11_{eq}, del 32% al 50% kg PO_{4 eq}, del 57% al 62% de kg de etileno_{eq}, por lo anterior, se recomienda que sea implementado un plan de manejo de los residuos generados después de un sismo, a fin de reducir los impactos generados por el inadecuado manejo de residuos que se ha identificado en sismos anteriores.
- Entre los actores involucrados en el manejo de los RCD más importantes se identificó a la SOBSE y SEDEMA, por lo tanto, para mejorar el manejo de los RCD se concluye que estas dos dependencias deberán trabajar en colaboración con el gobierno de la Ciudad de México para incluir protocolos para el manejo de residuos en el Plan de Emergencia Sísmica de la Ciudad de México. Asimismo, después de haber ocurrido un sismo, deberán llevar un registro de los RCD generados, vigilar que el almacenamiento de los RCD no sea tan prolongado como ha ocurrido en sismos previos, clasificar los residuos facilitar su tratamiento, realizar una recolección y transporte adecuado de los mismos, fomentar su reciclaje y vigilar que la disposición final sea la última de las opciones a considerar y si es el caso, que sea realizada en los sitios de disposición final de RCD.
- Se identificó que el presente trabajo puede ser de utilidad para la publicación del “**Plan de acción para la atención de residuos** en situaciones de emergencia o desastre para la CDMX” que debe presentar la SEDEMA y la SOBSE para mejorar el adecuado manejo de los residuos en casos de sismos, asimismo se identificó que este trabajo también puede ser un insumo para el manejo de los residuos en otras contingencias naturales, tales como inundaciones y huracanes.

REFERENCIAS

- Aicardi I., Chiabrando F., y Grasso N. (2016). UAV Photogrammetry with oblique images: first analysis on data acquisition and processing. The International of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volumen XLI-B1, 2016. Praga, Republica Checa.
- Acosta G., McClung E., Jiménez G & García V. (2018). El empleo de fotogrametría mediante vehículos aéreos no tripulados (VANT/dron) como herramienta de evaluación del patrimonio en riesgo: chinampas arqueológicas de Xochimilco. Revista Española de Antropología Americana, 47, 185-197.
- Allier Montaña E. (2018). Memorias imbricadas: terremotos en México. Revista Mexicana de Sociología 80, núm. Especial septiembre 2018: 9-40. Ciudad de México. ISSN: 0188-2503/18/080-ESPECIAL-01. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rms/v80nspe/0188-2503-rms-80-spe-9.pdf>
- Amato A., Gabrielli F. , Spinozzi F., Galluzzi L., Balducci S., Beolchini F. (2019). Strategies of disaster waste management after an earthquake: a sustainability assessment. Resources, conservation and recycling journal, 8.
- Bizcocho N. (2014). Aplicación del análisis de ciclo de vida a la gestión de los residuos de construcción. (Tesis Doctoral). Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Bovea M. & Powell J. (2016). Developments in life cycle assessment applied to evaluate the environmental performance of construction and demolition wastes. Waste Management 50 (2016) 151-172.
- Brown C., Milke M., Seville E. (2011). Disaster waste management: a review article. Waste Management 31 (2011) 1085-1098.
- Butera S., Christensen T., Astrup F. (2015). Life cycle assessment of construction and demolition waste management. Waste Management 44 (2015) 196-205.
- Caterpillar (2017). Ficha Técnica Excavadora Hidráulica 320 Cat®. Disponible en: <https://www.tracsa.com.mx/fichas-tecnicas/320.pdf>
- CDMX (2018). Aprender del sismo para ser más resilientes. Colaboración entre el gobierno de la Ciudad de México y el Programa 100 ciudades resilientes de la fundación Rockefeller. Primera edición, 2018. Gobierno de la Ciudad de México, México.
- CENAPRED (2014). Sismos. Serie Fascículos. 5ª edición. ISBN 970-628-876-7 <http://cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/163-FASCCULOSISMOS.PDF>

- Clavo L. (1985). Apuntes de fotogrametría. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Topográfica. España.
- CMIC, 2014. Plan de Manejo de Residuos de la Construcción y la Demolición. Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción. México, 2014. Disponible en: <https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Flayer/PM%20RCD%20Completo.pdf>
- Concretos Reciclados S.A. de C.V., 2019. Entrevista realizada en abril de 2019.
- Cruz M.V. (2013) Los sismos: Una amenaza cotidiana. México. La Caja de Cerillo Ediciones.
- D. Reinhart y P. Mc Creanor (1999). Disaster debris management-planning tools. Submitted to the US Environmental Protection Agency Region
- El Heraldo de México (1985). "Unos 417 edificios no se podrán habitar, se retiran los escombros" 27 de septiembre de 1985, p.6.
- En siempre! (1985). "Figuras de la semana" No. 1686, 16 de octubre de 1985, p.6
- EPA (2008). Planning for natural disaster debris. Estados Unidos de América, marzo 2008. Disponible en: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P1004PRS.PDF?Dockkey=P1004PRS.PDF>
- EPA (2019). Planning for natural disaster debris. Estados Unidos de América, abril, 2019. Disponible en: https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-04/documents/final_pndd_guidance_0.pdf
- Federman A., Santana M., Kretz S., Gregg J. y Lengies M. (2017). UAV photogrammetric workflows: a best practice guideline. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W5, 2017. Ottawa, Canadá.
- Fundación ICA (1988). Experiencias derivadas de los sismos de septiembre de 1985. Editorial Limusa S.A. de C.V., Primera edición. ISBN 968-18-2939-5
- Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2019. Acuerdo por el que se aprueba y expide el Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos para la Ciudad de México 2016-2020. Publicado el 19 de octubre de 2016.
- Government of South Australia, 2018. Disaster Waste Management Guidelines. State Emergency Management Plan-Part 4. DWM Capability Plan – Annex. Disponible en: https://www.dpc.sa.gov.au/data/assets/pdf_file/0005/38354/Disaster-Waste-Management-Guidelines.pdf

- Hugenholtz C., Walker J., Brown O., Myshak S. (2014). Earthwork volumetrics with and unmanned aerial vehicle and softcopy photogrammetry. American Society of Civil Engineers. DOI: 10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000138.
- INCyTU (2018). Residuos electrónicos. Oficina de Información Científica y Tecnológica para el Congreso de la Unión. Nota-INCyTU, Número 008 Disponible en: https://www.foroconsultivo.org.mx/INCyTU/documentos/Completa/INCYTU_18-008.pdf
- Índice Tom Tom Traffic, 2017. Disponible en: https://imco.org.mx/desarrollo_urbano/indice-de-traffic-2017-via-tomtom/
- INE, 2003. Diagnóstico Nacional de Bifenilos Policlorados en México. Instituto Nacional de Ecología, México. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/descargas/sqre/bpc%20final.pdf>
- INECC (2013). Estudio de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) del manejo de envases de bebidas de polietileno tereftalato (PET). Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110041/2013_CGCSA_Estudio_de_Analisis_de_Ciclo_de_Vida_de_Envases_de_Bebidas_de_Polietileno_Tereftalato_en_la_Fase_de_Pos-Consumo.pdf
- INECC. (2018) Generación de capacidades para la adopción de alternativas seguras al uso de pentaclorofenol. Instituto Nacional de Ecología de México, 2018. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/492444/PCP_Reporte_final_Contrato_INECC-RPAD-005-2018.pdf
- INEGI. (2018) Comunicado de prensa núm. 419/17 del 29 de septiembre de 2017. Disponible en http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2017/afectaciones/afectaciones2017_09.pdf
- Jain S., Singhal S., Pandey S. (2020). Environmental life cycle assessment of construction and demolition waste recycling: A case of urban India. Resources, Conservation & Recycling 155 (2020) 104642
- Gaceta Oficial de la Ciudad de México (2019). Decreto por el que se expide la Ley de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil de la Ciudad de México, No. 106 Bis. Disponible en: https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal_old/uploads/gacetas/1c69e280b18ca637d0f0910c14b28e85.pdf
- López A. y Lobo A. (2013). Emisiones en vertederos de residuos de construcción y demolición: un caso de estudio. Grupo de Ingeniería Ambiental, Dpto. Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, España.

- Melendez B. (1996) A study of leachate generated from construction and demolition waste landfills. Tesis de Maestría. Department of Environmental Engineering Science, University of Florida. EE.UU.
- Ministry of the Environment of Japan (2011). Guidelines (Master Plan) for Disaster Waste Management after the Great East Japan Earthquake. Disponible en: http://www.env.go.jp/jishin/attach/haiki_masterplan-en.pdf
- Ministry of the Environment of Japan (2018). Disaster Waste Management Guideline for Asia and the Pacific. Disponible en: <https://www.env.go.jp/press/files/jp/110165.pdf>
- Narcia, A. (2017). “Vierten escombros de la en tiradero irregular en el Estado de México”, en Noticieros Televisa. Disponible en: <https://noticieros.televisa.com/ultimas-noticias/vierten-escombros-cdmx-tiradero-irregular-estadodemexico/>
- Nava C. (2003). Caracterización y evaluación de los lixiviados de residuos de construcción, pétreos, cerámicos y de hormigón. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla, España.
- Nex F. y Remondino F. (2014). UAV for 3D mapping applications: a review. 3D Optical Metrology Unit, Bruno Kessler Foundation (FBK), Trento, Italy. Disponible en: file:///C:/Users/tania/Downloads/Nex_Remondino_AG2013_pre-print1.pdf
- Norma Técnica Complementaria al Reglamento de la Ley de Protección Civil del Distrito Federal NTC-002-SPCDF-PV-2010 que establece los lineamientos técnicos para la aprobación, utilización, operación y funcionamiento de instrumentos de alertamiento sísmico en inmuebles del Distrito Federal. Publicado en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 04 de agosto de 2010.
- OCDE (2013). “Estudio de la OCDE sobre el Sistema Nacional de Protección Civil”. Resumen ejecutivo. : http://www.cires.org.mx/docs_info/CIRES_037.pdf
- OPS. (2003) Gestión de Residuos Sólidos en Situaciones de Desastre. Disponible en: http://www.bvsde.paho.org/cursoa_mrsm/e/fulltext/GRS-Desastres.pdf
- Orozco V. y Reinoso E. (2007). Revisión a 50 años de los daños ocasionados en la Ciudad de México por el sismo del 28 de julio de 1957 con ayuda de investigaciones recientes y sistemas de información geográfica Revista de Ingeniería Sísmica No. 76 61-87
- Pacheco O., Plaza G., Cárdenas J., Sandoval J. (2007). Método de valorización de los impactos ambientales para el análisis de ciclo de vida de las bebidas gaseosas. Cienc. Technol. Año 9. N°9, 15-25.
- Pérez M. A. (1985) “Remoción de escombros”, El Universal, 10 de octubre de 1985. Secc. 1ª, p.

- Reinoso E. (2017). Riesgo sísmico de la Ciudad de México. Disponible en: <http://www.ai.org.mx/ai/archivos/coloquios/2/Riesgo%20sismico%20de%20la%20Ciudad%20de%20Mexico.pdf>
- Rosado L., Vitale P., Penteado C., Arena U. (2019). Life cycle assessment of construction and demolition management in a large area of Sao Paulo State, Brazil. Waste Management 85 (2019) 477-289.
- Salcido I. (2019). El terremoto de 1957, el día que el ángel voló. Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural. Primera edición:2019. México. ISBN 978-607-29-1733-0
- Sandoval, F. (2017). "El Bordo Poniente, clausurado en 2011, recibe los escombros del sismo", en Animal Político. Disponible en: <https://www.animalpolitico.com/2017/09/donde-terminan-los-escombros-del-sismo/>
- SEGOB (2017). Boletín No. 311/17. La Secretaría de Gobernación declara Emergencia Extraordinaria para la Ciudad de México, por la ocurrencia de sismo de magnitud 7.1. Disponible en: <https://www.gob.mx/segob/prensa/la-secretaria-de-gobernacion-declara-emergencia-extraordinaria-para-la-ciudad-de-mexico-por-la-ocurrencia-de-sismo-de-magnitud-7-1>
- SEDEMA (2019). Sitios autorizados para la disposición de materiales de excavación y de construcción. Disponible en: <https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/descargas/Sitios%20Autorizados%20Disposici%C3%B3n%20de%20Materiales.pdf>
- SEMARNAT. (2003). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, publicada el 8 de octubre del 2003. Última reforma publicada el 5 de junio de 2018. Disponibl en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgeepa/LGEEPA_ref41_05jun18.pdf
- SEMARNAT-PNUD (2009). Manejo y destrucción ambientalmente adecuados de bifenilos policlorados. SEMARNAT-PNUD. México. Disponible en: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/CD001283.pdf>
- SEMARNAT. (2011) Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, Que establece los criterios para clasificar a los residuos de manejo especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo. Última reforma publicada el 30 de abril de 2009, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/134113/20_NORMA_OFICIAL_MEXICANA_NOM-161-SEMARNAT-2011.pdf
- SEMARNAT (2017). Criterios para el manejo de los residuos de construcción y demolición generados por el sismo del 19 de septiembre para los estados de México, Morelos, Puebla

y Ciudad de México. Disponible en:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/259191/Criterios_RIC_Sismo_19_septiembre.pdf

SGM (2017). Sismología de México. Disponible en:
<https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Sismologia-de-Mexico.html>

Siebert S. y Teizer J. (2014). Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. RAPIDS Construction Safety and Technology Laboratory, School of Civil and Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology, 790 Atlantic Dr. N.W., Atlanta, GA 30332-0355, USA.

SOBSE (2018). Boletines de comunicación de la Secretaría de Obras y Servicios de la Ciudad de México de septiembre 2017 a diciembre de 2018. Disponible en:
<https://www.obras.cdmx.gob.mx/comunicacion/tipo/boletin>

SOBSE (2018a). Manual administrativo de la Secretaría de Obras y Servicios. Disponible en:
https://www.obras.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Manual_5_modificacion_50.pdf

Stantec (2017). Disaster Waste Management Planning. Prepared for Environment Canterbury, Waikato Regional Council and Bay of Plenty Regional Council. Disponible en:
<https://www.ecan.govt.nz/document/download?uri=3175626>

UICN (2011). Guía para el manejo de residuos de la construcción y la demolición. Unión Internacional de la Naturaleza y de los Recursos Naturales, Oficina Regional para Mesoamérica y la Iniciativa Caribe. San José, Costa Rica. Disponible en:
https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/guia_de_manejo_de_escombros.pdf

UNAM (2012). El sismo de la costa del Pacífico en Tohoku, Japón, marzo 11, 2011. Instituto de Ingeniería UNAM. 1ra edición, 15 de diciembre, 2012. ISBN 978-607-02-3970-0

USEPA (1995). Construction and demolition waste landfills. Office of Solid Waste. Informe N°68-W3-008

Wakabayashi Y., Peii T., Tabata T., Saeki T., (2017). Life cycle assessment and life costs for pre-disaster waste management systems. Waste Management 68 (2017) 688-700

ANEXO 1

Cuestionario enviado a actores clave a nivel nacional y estatal de acuerdo con en el manejo de RCD en caso de desastres.

1. ¿En caso de una eventualidad, como es el de un sismo qué institución es la encargada de gestionar la recolección de los residuos de la construcción?
2. ¿En promedio cuantas toneladas de residuos de la construcción se generan durante un sismo?
3. ¿En caso de colapso de inmuebles, quien autoriza la remoción y disposición de escombros?
4. ¿Después que ha sucedido un sismo, cuántos días transcurren para que se inicie la recolección de residuos de la construcción?
5. ¿La composición de los residuos de la construcción que son recuperados tras un sismo, es diferente a los que se recuperan en un proceso de demolición planeado?
6. Los residuos de la construcción que se recolectan después a una eventualidad se encuentran mezclados con otro tipo de residuos. ¿En qué calidad? se considera que se recuperan dichos residuos?
7. ¿En eventos anteriores a qué sitio de disposición se han enviado los residuos de la construcción?
8. ¿Cuál es la duración que debe tener un plan de manejo de Residuos de la Construcción?
9. ¿Qué método se utiliza en la actualidad para calcular la cantidad de RCyD son generados durante un sismo?
10. ¿Cuáles métodos de remoción de escombros que no ponen en riesgo la vida de personas, después de un sismo?
11. ¿Qué tipo de maquinaria se utiliza para labores de recuperación de material de construcción?
12. ¿Qué entidad administrativa presta servicios de maquinaria para las operaciones de demolición y recuperación de RCyD?
13. En caso de que desee reciclarse el material recuperado, tras una eventualidad ¿cómo se realiza la limpieza del mismo?
14. ¿En la actualidad existe un mercado para el utilizar el material demolición recuperado y reciclado?
15. ¿Cuáles son las principales dificultades que ha presentado la recuperación de material?
16. ¿Se considera costoso el traslado los RCyD hacia los sitios de disposición existentes?
17. Al iniciar labores de demolición de inmuebles en riesgo de colapso, ¿En la actualidad, este se envía a un sitio temporal?

18. ¿Existe alguna medida de mitigación de efectos generados a la salud por los escombros durante la recolección de mismos?
19. Existe un mapa que indique, cuáles zonas poseen mayor vulnerabilidad de colapso de inmuebles, en situación de sismos.
20. Considera que, en caso de existir una zona de mayor vulnerabilidad, deba existir un centro de reciclaje y acopio cercano.
21. Existe un sitio asignado para el almacenamiento temporal de los RCyD, para la recuperación de RCyD en caso de contingencia.
22. ¿Qué papel juegan las brigadas de rescate en la recolección de RCyD?

ANEXO 2

Resultados de la encuesta

Las dependencias de las que se recibió respuesta a nivel federal fueron SEMARNAT y CENAPRED, a nivel estatal, la SPC respondió que la información correspondiente a la gestión de los RCD en situaciones de emergencia corresponde a la SOBSE, la cual envió sus comentarios. Asimismo, se recibió respuesta del Heroico Cuerpo de Bomberos de las Ciudad de México y de parte de la academia, el Instituto de Geografía fue el encargado de atender la solicitud.

Cabe destacar que, aunque se contactó a los gobiernos de todas las alcaldías de la Ciudad de México, no se recibió ninguna respuesta.

1.- ¿En caso de caso de una eventualidad, como es el caso de un sismo quien (que institución) es el encargado de gestionar la recolección de los residuos de la construcción?

CENAPRED

Citando el Plan de manejo de residuos de la construcción y la demolición de la CMIC. En caso de una eventualidad se atendiendo a la solicitud de SEMARNAT y como parte del PM-RCD de la CMIC, se incluye el esquema general de Gestión de Residuos en Situaciones de Desastre (RSD), adaptable a las condiciones particulares de cada uno de los eventos que afecten al territorio nacional.

Una premisa básica es que, ante las situaciones de desastre, el manejo de los residuos es un tema de salud pública y por lo tanto es una actividad prioritaria. Junto con el resto de las acciones, el Programa Emergente de Manejo de Junto con el resto de las acciones, el Programa Emergente de Manejo de Residuos se aplicará en paralelo al Servicio Municipal de RSU, de manera que éste último deberá ser reforzado, a fin de que no se vea rebasado ni en sus acciones de recolección, ni de disposición final, en tanto no se restablezca dicho servicio.

SOBSE

Esto depende de la eventualidad y la magnitud de la misma, así como de la coordinación de la SPC y las Dependencias y Órganos de la Administración Pública de la Ciudad de México.

Heroico Cuerpo de Bomberos de la CDMX

La función intrínseca del organismo es la atención de emergencias, ello con el objetivo primordial de salvaguardar la vida de las personas y sus bienes. Por lo que, en caso de desastre el papel fundamental del Heroico Cuerpo de Bomberos de la Ciudad de México, es el rescate de personas atrapadas, utilizando para ello la herramienta, equipos especiales y vehículos necesarios para alcanzar este objetivo.

Sin embargo, en cuanto a la recolección de residuos de la construcción, este organismo no cuenta con las funciones ni facultades para recolectarlos o determinar su destino final, es decir, si bien es cierto se cuenta con maquinaria para la remoción de escombros este organismo dispone de ella, para la atención de la emergencia y no así para el traslado o recolección de la misma.

Instituto de Geografía, UNAM

De acuerdo con lo reportado por SEMARNAT:

Con base en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, el manejo de los residuos de la construcción y demolición generados incluyendo su disposición final deberá ser autorizado por el Gobierno Estatal, el cual pondrá a disposición toda la información sobre la ubicación de los tiros autorizados (p. 4).

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2017). Criterios para el manejo de los residuos de construcción y demolición generados por el sismo del 19 de septiembre para los estados de México, Morelos, Puebla y Ciudad de México. Consultado en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/259191/Criterios_RIC_Sismo_19_septiembre.pdf

2.- En promedio ¿cuántas toneladas de residuos de la construcción se generan durante un sismo?

CENAPRED

De manera aproximada 63 inmuebles demolidos equivalen a un edificio de 398 niveles, 8.8 veces la torre latinoamericana.

SOBSE

Un sismo es un fenómeno impredecible, al igual que sus consecuencias, no es posible estimar la generación de los RCyD.

Heroico Cuerpo de Bomberos de la CDMX

ND

Instituto de Geografía, UNAM

En zonas con elevado desarrollo urbano se estima una generación de 1-2 toneladas por m² construido, que depende siempre de la proporción de materiales empleados en cada localidad. Para estimaciones de volumen, se considera que se generan 0.5 m³ de materiales por cada m² de construcción (p.29).

3. ¿En caso de colapso de inmuebles, quien autoriza la remoción y disposición de escombros?

CENAPRED

Los generadores de residuos de la construcción y demolición de más de 80 m³ deberán de presentar, además de los requerimientos de la Secretaría, la formulación de los Planes de Manejo que para tal efecto establece la NOM-161- SEMARNAT-2011.

SOBSE

Esto dependerá de las estrategias de Gestión Integral de Riesgo que decrete o acuerde el Jefe de Gobierno, en su momento.

Heroico Cuerpo de Bomberos de la CDMX

El Heroico Cuerpo de Bomberos ejecuta diversos recorridos de reconocimiento por el perímetro de las alcaldías que integran la CDMX para ubicar los lugares de mayor impacto, así como efectuar la búsqueda, localización y rescate de personas, pero no autoriza la remoción de escombros.

Instituto de Geografía, UNAM

De acuerdo con SEMARNAT y con base en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.

4. ¿Después que ha sucedido un sismo, cuantos días transcurren para que se inicie la recolección de residuos de la construcción?

CENAPRED

La recomendación de los expertos es que no se utilice maquinaria pesada hasta agotar la búsqueda de víctimas durante las primeras 72 horas, inclusive usar el radar de pulsos electromagnéticos para escanear a través de los muros en situaciones de desastre.

SOBSE

No se tiene tiempo estimado, ya que para ello se busca salvaguardar la vida humana.

Instituto de Geografía, UNAM

Para el manejo de escombros después de un desastre, debe tenerse en cuenta que en la fase inicial todos los esfuerzos estarán concentrados en el rescate de personas. Es necesario, entonces, seleccionar métodos de demolición y recolección rápidos y efectivos que faciliten el rescate de ellas. Puede ser desde el primer día, en el momento que se recata a las personas que tienen vida.

Heroico Cuerpo de Bomberos de la CDMX

Las acciones primordiales del Heroico Cuerpo de Bomberos son el rescate de personas en estructuras colapsadas y la recuperación de cadáveres, todo ello, bajo el uso de protocolos y equipos de rescate especializado en estructuras colapsadas (Grupo de Búsqueda y Rescate en Estructuras Colapsadas)

5. ¿La composición de los residuos de la construcción que son recuperados tras un sismo, es diferente a los que se recuperan en un proceso de demolición planeado?

CENAPRED

Si escombros de construcciones dañadas, cascajo, sedimentos de suelo, restos de propiedades como muebles, enseres, vehículos, árboles y residuos de maleza, etc.

SOBSE

Si, ya que los RCyD, generados por los efectos de un sismo se encuentran mezclados con: objetos personales, muebles y enseres; para el caso de una demolición planeada se retiran todos aquellos materiales susceptibles de ser recuperados.

Instituto de Geografía, UNAM

De manera general, en una demolición planeada los residuos son exclusivos de la construcción. En caso de desastre estos residuos están mezclados con otros tipos.

Heroico Cuerpo de Bomberos

Las atribuciones del Heroico Cuerpo de Bomberos no incluyen el manejo de los residuos de la construcción.

6. Los residuos de la construcción que se recolectan después a una eventualidad se encuentran mezclados con otro tipo de residuos. ¿En qué calidad se considera que se recuperan dichos residuos?

CENAPRED

Los Residuos se clasifican en dos rubros:

- 1.-Los Residuos con potencial de ser peligrosos.
- 2.-El resto de los residuos producto de la emergencia.

Escombros de construcciones dañadas, cascajo.

Árboles y residuos de maleza.

Sedimentos del suelo.

Restos de propiedad particular (muebles, enseres, vehículos).

SOBSE

La calidad con la que son recuperados los residuos de la construcción no permite que estos pasen de manera directa a un proceso de transformación para ser usados como materia prima, y esto depende del inmueble y ante la diversidad que se tiene de infraestructura esto no es factible de estimar.

Instituto de Geografía, UNAM

Como resultado de un sismo se generan diversos residuos tales como: de manejo especial, residuos sólidos urbanos y residuos peligrosos; los cuales, si no son bien manejados y no se les da la disposición final adecuada generarán impactos relevantes en la salud de la población y ambiental en el suelo y en el agua (p. 2). Aunque se sabe que los residuos de construcción y demolición son considerados materiales inertes es importante resaltar que en un evento de sismo (emergencia), este tipo de residuos pueden ir contaminados con otro tipo de residuos tales como pinturas, metales, textiles, productos de limpieza de casas, entre otros (p.4).

Heroico Cuerpo de Bomberos

Las atribuciones del Heroico Cuerpo de Bomberos no incluyen el manejo de los residuos de la construcción.

7 ¿En eventos anteriores a que sitio de disposición se han enviado los RCyD?

SOBSE

En el sismo presentado en el año 2017, la SEMARNAT autorizó 54 sitios para la disposición final de los escombros, de los cuales 30 se encontraban en el Estado de México, 15 en Puebla y 9 en Morelos.

Instituto de Geografía, UNAM

- Barrancas
- Xochimilco
- Bordo Poniente

Al respecto, algunos medios de comunicación han reportado descargas de estos residuos en lugares no autorizados. El 28 de septiembre, Noticieros Televisa informó acerca del vertido de escombros del edificio colapsado en la avenida Álvaro Obregón en un tiradero irregular de Chalco, Estado de México (2017). Asimismo, al día siguiente Animal Político comunicó el traslado y depósito de residuos de este tipo en el Bordo Poniente (2017), basurero clausurado a finales de 2011 por encontrarse al límite de su capacidad y que hace unos meses se anunciaba como un proyecto “ambientalmente amigable”. Cabe mencionar que este mismo basurero recibió, junto con los predios en donde actualmente se construye el Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, los escombros del sismo de 1985.

Heroico Cuerpo de Bomberos

Las atribuciones del Heroico Cuerpo de Bomberos no incluyen el manejo de los residuos de la construcción.

8 ¿Cuál es la duración que debe tener un plan de manejo de Residuos de la Construcción?

CENAPRED

Es permanente y atiende al ciclo de vida de los RCD, las cuales se clasifican en acciones dentro de obra y fuera de ella

SOBSE

Depende de las estrategias que determine el Jefe de Gobierno de la Ciudad de México para la recuperación y reconstrucción.

Instituto de Geografía, UNAM

Un plan es permanente, pero a la vez flexible, pues debe ir cambiando con el tiempo, por ejemplo, debido al tipo de nuevos materiales que se utilizan.

Heroico Cuerpo de Bomberos

Las atribuciones del Heroico Cuerpo de Bomberos no incluyen el manejo de los residuos de la construcción.

9. ¿Qué método se utiliza actualmente para calcular la cantidad de RCyD son generados durante un sismo?

CENAPRED

De acuerdo con el método mencionado en el PM de la CMIC.

SOBSE

Se estima la cantidad de RCyD que se generan durante un sismo a través de la contabilización de las unidades de acarreo de los Residuo

Instituto de Geografía, UNAM

Seguramente deben existir métodos de cálculo en el área de Ingeniería.

Heroico Cuerpo de Bomberos

Las atribuciones del Heroico Cuerpo de Bomberos no incluyen el manejo de los residuos de la construcción.

10. ¿Cuáles métodos de remoción de escombros que no ponen en riesgo la vida de personas, después de un sismo?

CENAPRED

La recomendación de los expertos es que no se utilice maquinaria pesada hasta agotar la búsqueda de víctimas durante las primeras 72 horas, inclusive usar el radar de pulsos electromagnéticos para escanear a través de los muros en situaciones de desastre.

Se puede hacer pruebas no destructivas para revisar en qué lugar se encuentra el acero de refuerzo y durante la demolición no se ponen en riesgo a las personas.

SOBSE

Todo trabajo manual o mecánico conlleva un riesgo; para el caso de la demolición y remisión de los escombros, debe apegarse a los lineamientos que establezca la SPC.

Instituto de Geografía, UNAM

Se desconoce la respuesta

Heroico Cuerpo de Bomberos

Las atribuciones del Heroico Cuerpo de Bomberos no incluyen el manejo de los residuos de la construcción.

11. ¿Qué tipo de maquinaria se utiliza para labores de recuperación de material de construcción?

CENAPRED

- 1.- Palas excavadoras sobre neumáticos
- 2.- Cargador frontal sobre neumáticos
- 3.- Cargador para transporte de material suelto
- 4.- Grúas

5.- Herramientas de corte para varillas

6.- Equipo de apoyo neumático

7.- Rompedoras

SOBSE

Esto depende de varios factores, como pueden ser: las condiciones del inmueble, el espacio, el volumen de materiales, los accesos, el tipo de material por mencionar algunos; pudiendo utilizarse equipos de carga y demolición ligera y pesada.

Instituto de Geografía, UNAM

Camiones de carga, excavadoras, palas mecánicas, entre otras.

Heroico Cuerpo de Bomberos

Las atribuciones del Heroico Cuerpo de Bomberos no incluyen el manejo de los residuos de la construcción. El Heroico Cuerpo de Bomberos de la Ciudad de México cuenta dentro de su parque vehicular con retroexcavadoras, cargadores frontales de diversos tamaños, entre otra maquinaria especializada para el retiro de escombros o residuos de la construcción, que son exclusivamente para su uso dentro del marco de ejecución de acciones de la atención de emergencias.

12. ¿Qué entidad administrativa presta servicios de maquinaria para las operaciones de demolición y recuperación de RCyD?

CENAPRED

La Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción tiene una base de datos de empresas que se dedican a recuperar el material de la construcción.

SOBSE

Todos los entes tienen el compromiso de poner a disposición de las autoridades encargadas de la coordinación, los equipos (ligeros y pesados), herramientas y mano de obra con que cuenten, en principio para las acciones de rescate.

Instituto de Geografía, UNAM

Se desconoce la respuesta

Heroico Cuerpo de Bomberos

Como ya se había mencionado, la maquinaria especializada para el retiro de escombros o residuos de la construcción, son exclusivamente para su uso dentro del marco de ejecución de acciones de la atención de emergencias.

13. ¿Qué entidad administrativa presta servicios de maquinaria para las operaciones de demolición y recuperación de RCyD?

CENAPRED

Se realiza en tres etapas: acciones inmediatas, prioritarias y de regulación como lo describe el PM de la CMIC

SOBSE

La extracción del material susceptibles de ser reciclado y/o comercializado se realiza de forma manual.

Instituto de Geografía, UNAM

Separando los tipos de residuos de acuerdo con la norma ambiental NADF-007-RNAT-2013

Heroico Cuerpo de Bomberos

Las atribuciones del Heroico Cuerpo de Bomberos no incluyen el manejo de los residuos de la construcción

15. ¿Cuáles son las principales dificultades que ha presentado la recuperación de material?

CENAPRED

El reciclaje o recuperación del concreto presenta dos ventajas principales: (1) reduce la utilización de nuevos agregados vírgenes y los costos ambientales de explotación y transporte y asociados, y (2) reduce el desecho innecesario de materiales valiosos que pueden ser recuperados y reutilizados. A pesar de estas ventajas, el reciclaje de concreto no tiene un impacto significativo en la reducción de la huella de carbono (además de algunas reducciones que pueden ser logradas en transporte). La principal fuente de emisiones de carbono en el concreto está en la producción del cemento (cemento y agregados se mezclan para hacer concreto). No es viable separar el contenido de cemento en el concreto para su reciclaje o reutilización como nuevo cemento, por lo que no es posible reducir las emisiones de carbono por medio del reciclaje de concreto.

SOBSE

Que no se le da un uso a este tipo de materiales dentro de obras nuevas.

Instituto de Geografía, UNAM

No hay una separación de los residuos generados en un derrumbe o demolición.

No hay una ley, norma o plan que lo especifique concretamente para el caso de sismos.

En el caso de la Ciudad de México, no hay una selección previa de sitios que puedan servir para almacenar temporalmente los residuos de la construcción cuando ocurre un sismo. Por ejemplo, al poco tiempo de ocurrir el sismo 19S, las autoridades de la SEMARNAT autorizaron 54 sitios, pero se desconoce si eran de almacenamiento temporal o de disposición final, y su ubicación.

Heroico Cuerpo de Bomberos

Las atribuciones del Heroico Cuerpo de Bomberos no incluyen el manejo de los residuos de la construcción

16. ¿Se considera costoso el traslado los RCyD hacia los sitios de disposición existentes?

CENAPRED

Generalmente, los RCD se encuentran en áreas urbanas cercanas o en el sitio de la construcción, en tanto que los materiales vírgenes por lo general suelen obtenerse de canteras más distantes y áreas naturales. En contraste, los costos de transporte pueden incrementar al utilizar agregados reciclados si no existen maneras viables de procesar los agregados en el sitio donde serán utilizados.

SOBSE

Si, ya que los sitios de disposición final existentes ubicados fuera de la demarcación territorial de la Ciudad de México.

Instituto de Geografía, UNAM

Todo depende de la cantidad recolectada y la distancia al lugar de disposición final.

Heroico Cuerpo de Bomberos

Las atribuciones del Heroico Cuerpo de Bomberos no incluyen el manejo de los residuos de la construcción

17.- Al iniciar labores de demolición de inmuebles en riesgo de colapso, ¿Actualmente, este se envía a un sitio temporal?

CENAPRED

La elección de áreas en donde, provisionalmente pudieran tirarse los escombros ha de hacerse de forma tal que sea rápido el retorno de los vehículos a los lugares de derrumbe. Estas áreas pueden ser los camellones amplios, plazas, áreas no cubiertas que actualmente se utilizan como estacionamientos, lotes baldíos, etc.

SOBSE

No, se determina el sitio de disposición final dentro de los trabajos de demolición.

Instituto de Geografía, UNAM

Por ley se deben enviar a un sitio temporal, para procesarlos. Sin embargo, se desconoce si se lleva a cabo.

Heroico Cuerpo de Bomberos

Las atribuciones del Heroico Cuerpo de Bomberos no incluyen el manejo de los residuos de la construcción

18.- ¿Existe alguna medida de mitigación de efectos generados a la salud por los escombros durante la recolección de mismos?

CENAPRED

Se recomienda la consulta de El PROY-NMX-AA-SCFI-2012 que menciona algunos compuestos peligrosos y sus efectos a la salud

SOBSE

Esto depende de las recomendaciones que emita la SPC.

Instituto de Geografía, UNAM

Se sabe que si hay recomendaciones en algunos programas para la reducción de riesgo sísmico. Entre las afectaciones a la salud que se registran por este evento, principalmente se encuentran las enfermedades respiratorias.

Heroico Cuerpo de Bomberos

Dentro de los protocolos de actuación dentro de la atención de emergencias, el Heroico Cuerpo de Bomberos de la Ciudad de México como medida de mitigación de efectos se ocupan barreras de protección en la remoción de escombros, refiriendo específicamente a los equipos de protección personal.

19. Existe un mapa que indique, cuáles zonas poseen mayor vulnerabilidad de colapso de inmuebles, en situación de sismos

CENAPRED

Las delegaciones Cuauhtémoc, Benito Juárez, Miguel Hidalgo y Xochimilco son las que presentan mayor cantidad de estructuras dañadas, y debido a la naturaleza de riesgo que presentan para los habitantes; tienen que ser demolidas; sin embargo, en las 16 jefaturas delegacionales sólo Benito Juárez, Venustiano Carranza, Magdalena Contreras, Miguel Hidalgo y Cuauhtémoc, cuentan con un programa actualizado de protección civil.

SOBSE

Se desconoce si existe un mapeo de las zonas de mayor vulnerabilidad; sin embargo, es de conocimiento público que la República Mexicana se encuentra situada en las regiones sísmicas más activas del mundo, encavada dentro del área conocida como el Cinturón Circumpacífico, donde se encuentra la mayor actividad sísmica del planeta.

Instituto de Geografía, UNAM

Sí existen mapas, pero están restringidos para el público en general.

Heroico Cuerpo de Bomberos

De acuerdo con el Servicio Geológico Mexicano, existen regiones sísmicas en México, catalogadas como zona A, B, C y D.

20. Existe un sitio asignado para el almacenamiento temporal de los RC y D Para la recuperación de RC y D en caso de contingencia?

CENAPRED

La elección de áreas en donde, provisionalmente pudieran tirarse los escombros ha de hacerse de forma tal que sea rápido el retorno de los vehículos a los lugares de derrumbe. Estas áreas pueden ser los camellones amplios, plazas, áreas no cubiertas que actualmente se utilizan como estacionamientos, lotes baldíos, etc.

SOBSE

En caso de tener identificada una zona de mayor vulnerabilidad, previo a esperar un fenómeno debieran tomarse acciones preventivas para la previsión y mitigación de los impactos. Un centro de reciclaje y acopio no es estimable, ya que como se ha mencionado hasta el momento no son predecibles los fenómenos sísmicos y sus acciones.

Instituto de Geografía

En el caso del sismo de septiembre de 2017, se utilizaron lugares temporales, como el estacionamiento de la Alberca Olímpica, o sobre Viaducto Tlalpan en la desviación a Calzada Acoxta. Al parecer estos lugares no estaban asignados oficialmente.



21. ¿Qué papel juegan las brigadas de rescate en la gestión de RCyD?

CENAPRED

Las Brigadas de Protección Civil son el sustento operativo de los Grupos Internos de Protección Civil, que están conformados por personal voluntario dispuesto a colaborar en las tareas fundamentales que se circunscriben a la prevención de situaciones de riesgo, a la instrumentación de los procedimientos de auxilio en una emergencia en el ámbito laboral y hasta la vuelta a la normalidad, después de un accidente, siniestro y/o desastre.

SOBSE

Como su nombre lo dice son brigadas de rescate y su principal papel es el de rescatar vidas humanas, para la cual requieren remover manualmente los RCyD, no son con el objeto de llevar a cabo la recolección de RCyD.

Instituto de Geografía, UNAM

Su papel es muy importante, pero se debe elaborar un programa para capacitar a las brigadas a fin de separar desde el inicio los residuos.

Heroico Cuerpo de Bomberos

Las atribuciones del Heroico Cuerpo de Bomberos no incluyen el manejo de los residuos de la construcción

ANEXO 3

Consumo de combustible durante el tratamiento de residuos de la construcción y la demolición

La cuantificación del consumo de diesel por hora para cada uno de los equipos que se emplean en el reciclaje de los RCD, se realizó utilizando la siguiente ecuación:

$$C = P * C_o * F$$

Donde:

C = Consumo de diesel por hora

P = Potencia (HP)

C_o = Coeficiente de operación (0.8 para equipos en buenas condiciones)

F = Factor de combustible (0.1514 para motores de diesel)

- Excavadora Liebherr motor de 150 HP

$$C = 150 \text{ HP} * 0.8 * 0.1514$$

$$C = 18.1 \text{ l/h}$$

- Cargador Frontal Caterpillar 928 con motor de 150 HP

$$C = 150 \text{ HP} * 0.8 * 0.1514$$

$$C = 18.1 \text{ l/h}$$

- Triturador Primario Extec C12 con motor de 350 H

$$C = 350 \text{ HP} * 0.8 * 0.1514$$

$$C = 42.39 \text{ l/h}$$

- Impactador Rubble Master RM100 Go con motor de 235 HP

$$C = 235 \text{ HP} * 0.8 * 0.1514$$

$$C = 28.46 \text{ l/h}$$

- Criba Kleemann MS 953 EVO de 110 HP

$$C = 110 \text{ HP} * 0.8 * 0.1514$$

$$C = 13.32 \text{ l/h}$$

El consumo de diesel necesario para reciclar $1000 \text{ m}^3 \approx 1500 \text{ t}$ de RCD, se desglosa en la siguiente tabla:

Equipo	Potencia (HP)	Consumo de combustible por hora (l/h)	Capacidad de procesamiento (ton/h)	Consumo de combustible para reciclar $1000 \text{ m}^3 \approx 1500 \text{ t}$ de RCD
Excavadora Liebherr	150	18.1	250	108.6
Cargador Frontal Caterpillar 92	150	18.1	250	108.6
Triturador Primario Extec C12	350	42.39	250	254.34
Impactador Rubble Master RM100 Go	235	28.46	250	170.76
Criba Kleemann MS 953 EVO	110	13.32	500	39.96
Total				682.26